



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRIIKKA RANTA
VIEMÄRIVERKOSTON VUOTOVESILÄHTEIDEN TUTKIMINEN JA
VERKOSTOTIEDON HYÖDYNTÄMINEN VIEMÄRILAITOKSILLA

Diplomityö

Tarkastajat: professori Jukka Rintala ja
kehittämispäällikkö Salla Kallioinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 8. kesäkuuta 2016

TIIVISTELMÄ

HENRIIKKA RANTA: Viemäriverkoston vuotovesilähteiden tutkiminen ja verkostotiedon hyödyntäminen viemärilaitoksilla

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 61 sivua

Syyskuu 2016

Ympäristö- ja energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Vesi- ja jätehuoltotekniikka

Tarkastajat: professori Jukka Rintala, kehittämispäällikkö Saila Kallioinen

Avainsanat: vuotovesi, viemäriverkosto, virtausmittaus, savukoe, verkostotieto

Viemäriverkostojen ikääntyessä niiden kunto heikkenee ja niihin pääsevän vuotoveden määrä kasvaa. Vuotovedet voidaan jakaa varsinaiseen vuotoveteen ja huleveteen. Varsinainen vuotovesi on pohjavettä, joka suotautuu verkostoon putkien ja tarkastuskaivojen halkeamien kautta. Hulevesi on sadevettä, joka vuotaa verkostoon esimerkiksi puuttuvien tarkastuskaivojen kansien kautta. Vuotovedet kuormittavat viemäriverkostoa ja jätevedenpuhdistamoa sekä aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia ja ympäristöriskejä. Vuotovesien määrää voidaan vähentää saneeraamalla verkostoa. Jotta saneeraukseen käytettävissä olevat resurssit osataan kohdistaa oikeille alueille, tarvitaan tietoa verkoston kunnosta ja vuotavuudesta.

Tässä diplomityössä vuotoveden lähteitä tutkittiin siirrettävillä virtausmittareilla ja savukokeilla Uotilan kaupunginosassa Raumalla. Viemäriverkostoon epäiltiin pääsevän vuotovesiä erityisesti sateiden aikana. Tehtyjen mittausten perusteella tutkittuun verkostoon ei kuitenkaan päässyt merkittävästi suoria hulevesiä. Sen sijaan vuotovesi oli pääosin pohjavettä. Vuotavimmat verkostoalueet voitaisiin TV-kuvata, jolloin nähtäisiin putkien kunto ja voitaisiin arvioida niiden saneeraustarve.

Uotilan viemäriverkoston virtaamaa kasvattivat kahden kaatopaikan suotovedet. Vaikka suotovedet eivät ole vuotovesiä, ne voivat aiheuttaa kapasiteetin ylittymisen Uotilan pumppaamalla erityisesti silloin, kun verkostossa on paljon vuotovesiä. Kapasiteettiongelmia voitaisiin vähentää ajoittamalla suotovesien pumppaus esimerkiksi yöaikoihin, jolloin viemäriverkostoon tulee vähemmän jätevettä. Lisäksi Uotilan verkostoon tulee jätevesiä Lapin ja Kollan kaupunginosista. Tutkimuksen perusteella Lapin ja Kollan alueiden virtaamat kasvavat merkittävästi sateiden aikana, mikä viittaa siihen, että alueelta pääsee viemäriverkostoon hulevesiä. Näiden alueiden vuotovesitilannetta olisi hyvä selvittää tarkemmin.

Tietoa verkoston toiminnasta saadaan kunto- ja vuototutkimusten lisäksi viemärilaitoksen päivittäisestä toiminnasta. Järjestelmällisesti kerättyä ja ajan tasalla olevaa verkostotietoa voidaan hyödyntää viemäriverkoston kunnossapidon ja saneerauksien suunnittelussa. Lisäksi kattava verkostotieto mahdollistaisi monien työkalujen käytön, muun muassa verkoston mallintamisen, päätöstukimallien käytön saneerausten suunnitteluun ja priorisointiin sekä kokonaisvaltaisen käyttöomaisuuden hallinnan. Raumalla verkostotiedon keräämistä ja hyödyntämistä voitaisiin lisätä monin tavoin. Vähimmillään Rauman kaupungin tulisi saada verkoston sijaintitiedot sähköiseen muotoon mahdollisimman pian, sillä vesihuoltolaki edellyttää verkoston sijaintitietojen digitoimista vuoden 2016 loppuun mennessä.

ABSTRACT

HENRIIKKA RANTA: Investigation of sanitary sewer inflow and infiltration and application of the sewer network data

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 61 pages

September 2016

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Engineering

Major: Water and Waste Engineering

Examiners: Professor Jukka Rintala, Development Manager Salla Kallioinen

Keywords: inflow, infiltration, sanitary sewer, flow metering, smoke test, network data

Inflow and infiltration (I/I) into sanitary sewer increase when the sewer networks age and deteriorate. Infiltration is groundwater that enters into sewer through the defects in the sewer system. Inflow is storm water that gets into sewer through, for example, missing manhole covers. I/I increase hydraulic loading in the sewer network and the wastewater treatment plant. They also cause additional costs and environmental risks. The amount of I/I can be reduced by renewal of the network. Information of the network condition and the amount of I/I is needed to allocate renewal resources in the right areas.

In this Master's Thesis the sources of I/I was investigated with mobile flow meters and smoke tests in Uotila, in the city of Rauma. It was assumed that rain increases the flow inside the studied area. Based on the measurement, however, the amount of inflow was not significant in the investigated sewer network. Instead, most of the additional water in the sewer was groundwater. The most leaky areas could be investigated with closed-circuit television to detect the condition of the pipes and to evaluate the need for renewal.

Leachate from two landfills increased the flow in the sewer network of Uotila. Landfill leachates are not considered as I/I but they can cause exceeding of the capacity at the pumping station of Uotila especially when there are great amount of I/I in the sewer. Capacity problems could be reduced by scheduling leachate pumping at night time, for instance, when there is less waste water in the network than during day time. Additionally, the waste water from areas of Lappi and Kolla passes through the Uotila's sewer network. Based on the measurements, the flow from Lappi and Kolla increases notably during the rain, which indicates sources of direct inflow in these areas. The sources of I/I in Lappi and Kolla could be investigated more closely in the future.

The information about sewer network can be gathered from the condition assessments of sewer, but also in the daily operation of the waste water utilities. Systematically gathered and up-to-date network data can be utilized in the planning of sewer network maintenance and renewal. Furthermore, comprehensive network data enable the use of many developed tools, such as modelling of the sewer network, decision support systems in the planning and prioritization of renewals or complete asset management. There are many possibilities to improve the collection and the utilization of sewer network data in the city of Rauma. At minimum, the city of Rauma should digitize the network location data as soon as possible. The Act on Water Services obliges that the network location data should be digitized by the end of the year 2016.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Rauman Vedelle kevään ja kesän 2016 aikana. Työn tarkastajina ovat toimineet Jukka Rintala ja Saila Kallioinen.

Rauman Vedelle haluan osoittaa kiitoksen mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta. Kiitän koko vesihuoltolaitoksen henkilökuntaa kaikesta avusta työhön liittyen sekä mukavista työpäivistä. Erityisesti haluan kiittää Matti Mäkistä ja Tarmo Lindroosia, jotka tekivät väsymättä kanssani virtausmittauksia ja savukokeita koko puolen vuoden ajan. Jukka Rintalaa ja Saila Kallioista kiitän työn tarkastamisesta sekä rakentavasta palautteesta työn kirjoittamisen aikana.

Lämmin kiitos perheelleni kaikesta tuesta ja kannustuksesta koko opiskelujeni aikana. Kiitokset myös opiskelukavereilleni unohtumattomista opiskeluvuosista! Erityiskiitos rakkaalle Juhalleni työn oikoluvusta sekä loputtomasta tuesta ja kärsivällisyydestä työn tekemisen aikana.

Hämeenlinnassa, 20.9.2016

Henriikka Ranta

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	VUOTOVEDET VIEMÄRIVERKOSTOSSA.....	3
2.1	Viemärointiä ja vuotovesiä koskevaa lainsäädäntöä.....	3
2.2	Vuotovesien pääsy viemäriverkoston.....	4
2.3	Vuotovesien aiheuttamat haitat	6
2.4	Viemäriverkoston kunnossapito ja saneeraus	7
2.5	Viemäriverkoston vuotojen tutkimusmenetelmät	8
2.5.1	Virtausmittaukset	9
2.5.2	Savukokeet	10
2.5.3	TV-kuvaus.....	12
2.5.4	Vuove-menetelmä	12
3.	VERKOSTOTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN VIEMÄRILAITOKSILLA.....	14
3.1	Älyvesi	14
3.2	Verkostotietojen kerääminen.....	16
3.2.1	Kartoittaminen	17
3.2.2	Tiedonsiirtotekniikka	17
3.2.3	Valvomo-ohjelma.....	18
3.2.4	Pumppaamoilta saatava virtaamatieto.....	19
3.2.5	Toiminnallisen tiedon kerääminen.....	20
3.2.6	Vedenkulutustieto	21
3.2.7	Viemäriverkoston mallintaminen.....	21
3.3	Verkostotietojen tallentaminen	22
3.4	Verkostotiedon analysointi.....	23
3.4.1	Tunnuslukujärjestelmä.....	23
3.4.2	Päätöstukimallit.....	24
3.4.3	Käyttöomaisuuden hallinta	24
4.	AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT.....	26
4.1	Rauman Vesi	26
4.2	Rauman viemäriverkosto.....	27
4.3	Verkostotietojen tallentaminen Rauman Vedellä.....	28
4.4	Tutkimusalue.....	30
4.5	Käytetyt tutkimusmenetelmät	31
4.5.1	Virtausmittaukset	31
4.5.2	Savukokeet	33
5.	TULOKSET	35
5.1	Vuotovedet Rauman viemäriverkostossa	35
5.2	Vuotovesimäärien mittaaminen virtausmittauksilla.....	37
5.2.1	Uotilan kaupunginosa	38
5.2.2	Uotilan verkoston pohjoisosa.....	41
5.2.3	Uotilan verkoston eteläosa	45

5.2.4	Uotilan verkoston runkolinja	46
5.2.5	Pienet mittausalueet	49
5.3	Savukokeet	49
6.	TULOSTEN TARKASTELU	51
6.1	Vuotovedet Uotilan viemäriverkostossa	51
6.2	Virtausmittausten luotettavuus ja virhelähteet	52
6.3	Virtausmittausten tulosten vertailtavuus	53
6.4	Verkostotiedon hyödyntäminen Rauman Vedellä.....	54
7.	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	58

LYHENTEET

AMI	Advanced Meter Infrastructure
AMR	Automatic Meter Reading
CAD	Computer-aided Design
I/I	Inflow and infiltration
NIS	Network Information System
ROTI	Rakennetun omaisuuden tila
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SWAN	Smart Water Networks Forum
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UTC	Universal Time, Coordinated
VVY	Vesilaitosyhdistys

1. JOHDANTO

Monissa maissa viemäriverkostot ikääntyvät jatkuvasti (Fenner 2000). Esimerkiksi Yhdysvaltain viemäriverkoston keskimääräisen iän arvioidaan olevan noin 40 vuotta, ja ikääntymisen arvioidaan jatkuvan ainakin vuoteen 2050 asti. Verkostojen ikääntyessä niiden kunto heikkenee ja toimintahäiriöt lisääntyvät. Vuonna 2000 arviolta 23 % Yhdysvaltojen viemäriverkostosta arvioitiin kuuluvan kuntoluokkiin huono, erittäin huono tai käyttöikä päättynyt. Vuonna 2020 samoihin kuntoluokkiin arvioidaan kuuluvan 45 % viemäriverkostosta. (U.S. EPA 2002c) Verkostojen kunnan heiketessä niihin pääsevän vuotoveden määrä kasvaa. Vuotovedet ovat puhtaita pohja- tai hulevesiä, jotka kuormittavat viemäriverkostoa ja jätevedenpuhdistamoa. Lisäksi ne heikentävät jätevedenpuhdistamon toimintaa sekä aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia ja ympäristöhaittoja. (Staufer et al. 2012)

Vuonna 2006 Suomen viemäriverkoston kokonaispituudeksi arvioitiin 46 000 km, josta noin 37 % oli yli 30 vuotta vanhaa verkostoa. Viemäreistä noin 12 % arvioitiin olevan kunnoltaan huonoja tai erittäin huonoja. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Suomessa verkoston toiminnallisen käyttöiän arvioidaan olevan 40–60 vuotta (Välisalo et al. 2006), minkä takia iso osa viemäriverkostostamme alkaa lähestyä käyttöikänsä loppua. Vaikka monet vesihuoltolaitokset ovat lisänneet saneerausta viime vuosina, valtakunnallisesti tarkasteltuna verkostojen ikääntyminen jatkuu ja saneerausten määrää tulisi edelleen kasvattaa saneerausvelan kasvun pysäyttämiseksi (ROTI 2015). Viemäreitä saneerataan vuosittain arviolta 0,6-0,8 % verkostopituudesta (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Jotta ikääntyvä verkosto saataisiin uusittua suunnitelmallisesti, tulisi vuotuinen saneeraustaso nostaa 2,5 %:iin verkostopituudesta (ROTI 2009).

Saneeraukseen käytettävissä olevat resurssit ovat rajalliset. Jotta ne saataisiin kohdistettua huonokuntoisimmille verkostoalueille, tarvitaan tietoa verkoston kunnosta ja vuotavuudesta. Ajantasainen ja luotettava verkostotieto mahdollistaa erilaisten työkalujen käytön saneerauksen suunnitteluun ja vuotovesimäärien vähentämiseen. (Luomanen et al. 2013) Verkostotiedon laatu ja määrä vaihtelevat kunnittain. Joissain kunnissa myös osa verkoston perustiedoista eli sijainti-, ikä- ja materiaalitiedoista on puutteellista. Arviolta noin puolet verkostotiedosta on siirretty sähköiseen muotoon. (ROTI 2015) Uudistettu vesihuoltolaki velvoittaa verkostojen sijaintitietojen siirtämistä sähköiseen muotoon vuoden 2016 loppuun mennessä (L 681/2014), mikä osaltaan lisää digitoidun verkostotiedon määrää vesihuoltolaitoksilla.

Tämän diplomityön tavoitteena on kartoittaa vuotovesien määrää Rauman kaupungin viemäriverkostossa Uotilan kaupunginosassa. Vuotovesien määrää selvitetään virtausmittauksin, joiden avulla pyritään rajaamaan vuotavimmat alueet. Tällöin jatkotutkimukset voidaan kohdistaa näille alueille. Lisäksi osalla tutkimusalueesta tehdään savukokeita, joilla voidaan löytää suoria huleveden reittejä viemäriverkostoon. Vuotovesilähteiden tutkimisen lisäksi työssä pohditaan verkostotiedon keräämisen ja hyödyntämisen lisäämistä Rauman Vedellä.

Luvussa 2 käsitellään vuotovesiin liittyvää teoriaa. Siinä käydään läpi viemäröintiin ja vuotovesiin liittyvää lainsäädäntöä, vuotovesien pääsyä viemäriverkostoon ja niiden haittoja sekä keinoja vuotovesien määrän vähentämiseen. Lopuksi esitellään Suomessa yleisimmin käytetyt viemäriverkoston vuotojen tutkimusmenetelmät. Luvussa 3 käsitellään verkostotietoon liittyvää teoriaa eli mitä tietoa verkostosta voitaisiin kerätä, miten se tulisi tallentaa ja miten sitä voitaisiin hyödyntää erityisesti saneerausten ja kunnossapidon suunnittelussa. Luvussa 4 esitellään käytetty aineisto ja tutkimusmenetelmät. Luvussa 5 käydään läpi työssä saadut tulokset ja luvussa 6 tulosten tarkastelu. Työn lopussa luvussa 7 on tutkimuksen yhteenveto.

2. VUOTOVEDET VIEMÄRIVERKOSTOSSA

Viemäriverkoston tehtävä on jätevesien kerääminen ja johtaminen jätevedenpuhdistamolle sekä käsitellyn jäteveden purkaminen vastaanottavaan vesistöön. Pääasiallisia viemärijärjestelmiä ovat erillisviemärointi ja sekaviemärointi. Erillisviemäroinnillä tarkoitetaan järjestelmää, jossa jätevesi ja puhtaat hulevedet johdetaan erillisissä putkissa pois kulutuspiisteiltä. Myös perustusten kuivatusvedet pyritään johtamaan hulevesiviemärissä. Sekaviemäroinnissä jäte-, hule- ja kuivatusvedet johdetaan samassa putkessa toisiinsa sekoittuneina jätevedenpuhdistamolle. Uusia sekaviemäroityjä alueita ei ole suositeltavaa enää rakentaa. (Karttunen 2010a)

Erillisviemäroityyn verkostoon kuuluisi johtaa vain jätevettä. Silti kaikkiin viemäreihin pääsee niihin kuulumatonta vuotovettä. Viemäriin pääsevät vuotovedet voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden alkuperän mukaan. Varsinainen vuotovesi on pohja- tai maa-vettä, joka pääsee verkostoon putken seinämien, putkiliitosten tai tarkastuskaivon rakenteiden kautta. Hulevesi on puolestaan sade- tai lumensulamisvettä, joka valuu pintavaluntana viemäriin, esimerkiksi tarkastuskaivon kansien kautta. Vuotovesien määrää arvioitaessa hulevesiin luetaan lisäksi luvattomien tai väärin asennettujen hulevesiliitännöiden kautta viemäriin pääsevät vedet sekä rakennusten kuivatusvedet. (U.S. EPA 2014)

Edellä mainittujen vuototyyppien lisäksi jätevettä voi vuotaa putkesta maaperään. Yleensä vuotamista tapahtuu huonokuntoisista viemäriputkista pohjaveden ollessa matalla. Riskinä on maaperän ja pohjaveden pilaantuminen vuotavan viemäriin läheisyydessä. (DeSilva et al. 2005) Tässä työssä käsitellään vain viemäriin sisään vuotavia puhdaita sade- ja pohjavesiä.

2.1 Viemärointiä ja vuotovesiä koskevaa lainsäädäntöä

Yhdyskuntajätevesien käsittelystä on säädetty Euroopan unionin lainsäädännössä Yhdyskuntajätevesidirektiivissä (91/271/ETY, muutettu 27.2.1998 neuvoston direktiivillä 98/15/EY). Suomessa yhdyskuntajätevesidirektiivin edellyttämät säädökset on sisällytetty pääosin yhdyskuntajätevesiasetukseen, joka on annettu vesihuoltolain ja ympäristönsuojelulain nojalla. (HE 218/2013) Yhdyskuntajätevesiasetuksessa (Vna 888/2006) edellytetään, että taajamat on sisällytettävä vesihuoltolaitoksen toiminta-alueisiin. Lisäksi jätevesiviemäriin suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa on huomioitava jäteveden käsittelyvaatimukset ja käytettävä parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Erityisesti on huomioitava yhdyskuntajätevesien määrä ja ominaisuudet, viemäriverkoston vuotojen ehkäiseminen sekä ylivuotovesistä aiheutuva vesien pilaantumisen rajoittaminen.

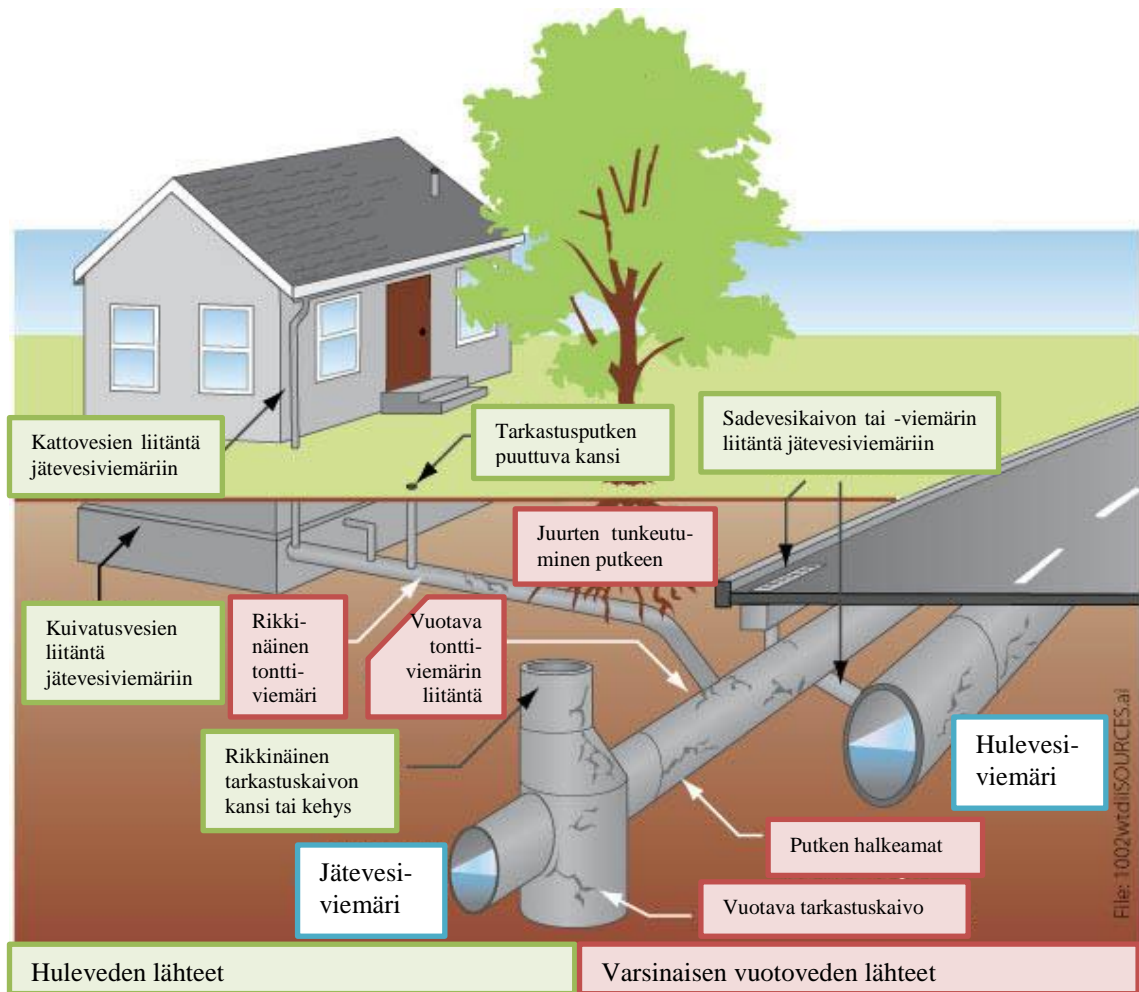
Vesihuoltolaissa (119/2001) säädetään vesihuollon kehittämisestä, vesihuoltopalvelujen järjestämisestä ja niistä huolehtimisesta sekä vesihuoltolaitoksen ja sen asiakkaan välisestä suhteesta (HE 218/2013). Viemäreiden osalta vesihuoltolaki edellyttää, että vesihuoltolaitos tarkkailee laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää verkostossaan. Lisäksi tiedot verkostojen sijainnista on saatettava sähköiseen muotoon vuoden 2016 loppuun mennessä. (L 681/2014)

Vuotovesiin liittyvä lainsäädäntö koskee lähinnä hulevesien hallintaa. Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan kunta on vastuussa hulevesien hallinnan järjestämisestä alueellaan (L 682/2014). Vesihuoltolain mukaan kunta voi kuitenkin päättää, että vesihuoltolaitos hoitaa hulevesien viemäröinnin erikseen määritellyllä alueella. Ennen päätöksen tekoa kunnan on neuvoteltava vesihuoltolaitoksen kanssa ja varmistettava, että vesilaitos kykenee huolehtimaan huleveden viemäröinnistä taloudellisesti ja asianmukaisesti, ja että hulevesien viemäröinnistä aiheutuvat maksut muodostuvat kohtuullisiksi ja tasapuolisiksi. (L 681/2014)

Kiinteistön on liityttävä vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin, jos se sijaitsee kunnan määrittämällä vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäröinnin alueella. Kunnan ympäristönsuojeluviranomainen voi kuitenkin myöntää kiinteistölle vapautuksen liittämismuutoksen suudesta. Vapautus voidaan myöntää, jos liittäminen muodostuisi kiinteistön omistajalle tai haltijalle kohtuuttomaksi, vapauttaminen ei vaaranna vesihuoltolaitoksen edellytyksiä hoitaa hulevesien viemärintä ja jos vapautetun kiinteistön hulevedet voidaan muuten johtaa pois asianmukaisesti. Lisäksi vesihuoltolaitos voi kieltäytyä liittämästä kiinteistöä hulevesiviemäriin, jos kiinteistön hulevesien määrä tai laatu vaikeuttaisi laitoksen toimintaa tai vaarantaisi laitoksen edellytykset huolehtia muiden kiinteistöjen huleveden viemäröinnistä tyydyttävästi. Kiinteistön hulevesiä ei saa johtaa jätevesiviemäriin. Kiellosta voidaan kuitenkin poiketa, mikäli jätevesiviemäri on rakennettu ennen vuotta 2015, se on mitoitettu myös hulevesien poisjohtamiselle ja alueella ei ole huleveden viemäriverkostoa, johon kiinteistö voitaisiin liittää. Lisäksi vesilaitoksen on kyettävä huolehtimaan jätevesiviemäriin johdettavasta hulevedestä taloudellisesti ja asianmukaisesti. (L 681/2014)

2.2 Vuotovesien pääsy viemäriverkostoon

Varsinaiset vuotovedet eli pohja- ja maavedet pääsevät maaperästä jätevesiviemäriin huonokuntoisten putkien ja tarkastuskaivojen sekä vuotavien liitosten kautta. Suoria huleveden reittejä ovat puolestaan rikkinaiset tai puuttuvat tarkastuskaivojen kannet sekä luvattomat tai virheelliset kattovesien, perustusten kuivatusvesien sekä sadevesiviemärien liittäminen jätevesiviemäriin. (U.S. EPA 2014) Vuotoveden reittejä erillisviemäroityyn viemäriin on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Vuotovesien pääsy jätevesiviemäriin (muokattu lähteestä King County 2015).

Viemäriin vuotavan pohjaveden määrään vaikuttavat esimerkiksi putken kunto ja materiaali, asentajien ammattitaito, pohjaveden pinnankorkeus sekä putken ympärillä olevan täytemaan ominaisuudet. Putken kunnon heiketessä siihen syntyy vaurioita, joiden kautta pohjavesi pääsee suotautumaan viemäriin. (Karttunen 2010b) Lisäksi putkiliitokset ovat yleinen vuotokohta, sillä painovoimaisessa viemäriässä liitoskohdasta saadaan harvoin tehtyä täysin vuotamatonta. Ajan kuluessa putki voi myös painumisen takia siirtyä osittain pois liitoskohdasta, jolloin liitoksen kautta pääsevän vuotoveden määrä kasvaa. (DeSilva et al. 2005)

Pohjavesi pääsee suotautumaan viemäriverkostoon silloin, kun sen pinnankorkeus on viemäriputken tasolla tai sen yläpuolella. Suomessa pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee kausittain, minkä takia myös varsinaisen vuotoveden määrä viemäriverkostossa vaihtelee. Matalimmillaan pohjavedenpinta on yleensä maan ollessa jäässä, jolloin uutta pohjavettä ei pääse muodostumaan. Lumensulaminen nostaa pinnankorkeutta, ja usein pohjavesi onkin korkeimmillaan keväällä. Tyypillisesti pohjavedenpinta laskee kesällä ja nousee uudelleen syksyn sateiden seurauksena. (Karttunen 2010b) Pohjaveden pinnankorkeus riippuu kuitenkin säätilasta, joten siinä on sekä alueellista että vuosittaista vaihtelua.

Maalajin vedenläpäisevyys vaikuttaa veden liikkumiseen maaperässä. Hyvin vettäläpäisevässä maassa pohjavesi pääsee helposti kulkeutumaan putken vauriokohtaan ja sen kautta viemäriin. Näin ollen myös putkikaivannon täytöllä on olennainen vaikutus vuotovesimääriin. Joissain tapauksissa viemäriputki voi toimia salaojana, jolloin pohjavettä suodautuu viemäriin niin paljon, että pohjaveden pinnankorkeus laskee viemärin lähistöllä. Täytemaan kautta viemäriin voi päästä pohja- ja maavesien lisäksi vesijohdosta ja sadevesiviemäristä vuotavia vesiä. (Karttunen 2010a)

Sademäärät vaikuttavat viemäriin pääsevän vuotoveden määrään. Ne aiheuttavat pintavaluntaa eli hulevesiä, jotka pääsevät jätevesiviemäriin esimerkiksi tarkastuskaivon kansien kautta. Lisäksi kiinteistöt voivat johtaa hulevetensä jätevesiviemäriin joko luvallisesti tai luvattomasti. Suorien hulevesien vaikutus jätevesivirtaamaan lakkaa yleensä melko pian sateen tai lumen sulamisen päätyttyä. Sateet nostavat myös pohjaveden pinnankorkeutta, mikä lisää pohjaveden suodautumista viemäriin. Joissain tapauksissa vesistöjen tulvat voivat lisätä vuotovesien määrää jätevesiviemäriissä, jos ylivuotoputket on rakennettu niin matalalle, että vesi pääsee virtaamaan ylivuotoputkea väärään suuntaan viemäriin. (Karttunen 2010a)

2.3 Vuotovesien aiheuttamat haitat

Vuotovedet kasvattavat viemäriverkostossa liikkuvan veden määrää, mikä kuormittaa verkostoa ja jätevedenpuhdistamoa sekä laskee niiden kapasiteettia (Wirahadikusumah et al. 1998). Myös jäteveden pumppaus- ja puhdistuskustannukset nousevat vesimäärän kasvaessa (Gokhale & Graham 2004). Vuotovedet viilentävät ja laimentavat jätevettä, mikä heikentää jäteveden käsittelyn tehokkuutta (Staufer et al. 2012). Lisäksi jätevedenpuhdistamoista joudutaan suunnittelemaan liian suuria, jotta niissä pystyttäisiin käsittelemään pääosin kaikki viemäreissä virtaava vesi (ROTI 2015). Vuotovedet voivat johtaa viemäriverkoston, pumppaamoiden tai jätevedenpuhdistamon kapasiteetin ylityksiin, mikä voi aiheuttaa ylimääraistä saneeraus- ja investointitarvetta vesihuoltolaitoksille (Saastamoinen 2015).

Viemäriverkoston tai pumppaamoiden kapasiteetin ylittyminen voi aiheuttaa tulvimista ja ylivuotoja ympäristöön. Jätevedenpuhdistamolla voidaan joutua johtamaan puhdistamatonta jätevettä suoraan vesistöön, jos laitoksen kapasiteetti ei riitä koko vesimäärän puhdistamiseen. Ylivuodoissa ja prosessiohituksissa jätevesi kuormittaa vastaanottavaa vesistöä tai maaperää ja voi aiheuttaa ympäristön pilaantumista. (Saastamoinen 2015) Viemäritulvassa jätevettä voi päästä purkautumaan viemäristä kiinteistöihin, pihuille tai kaduille. Tulvat voivat aiheuttaa terveyshaittoja ja eroosiota, vaurioittaa rakenteita sekä liata ympäristöä. Lisäksi ne voivat aiheuttaa liikenneonnettomuuksia sekä vaaraa jalkakulkijoille ja kevyelle liikenteelle, jos katurakenteet ovat vaurioituneet tai jos viemärikaivojen kannet ovat siirtyneet pois paikoiltaan. (Karttunen 2010a) Vesilaitos voi olla myös korvausvelvollinen mahdollisista vahingoista (Saastamoinen 2015).

2.4 Viemäriverkoston kunnossapito ja saneeraus

Huolellisesti rakennettu ja oikein mitoitettu viemäri on pitkäikäinen rakenne. Suomessa vesihuoltoverkostojen teknisen käyttöiän arvioidaan olevan noin 40–60 vuotta riippuen putkimateriaalista, veden laadusta, virtausolosuhteista sekä maaperä- ja kuormitusolosuhteista (Välisalo et al. 2006). Verkostojen ikääntyessä niiden kunto yleensä heikkenee ja niihin pääsee yhä enemmän vuotovesiä. Pelkkä ikä ei kuitenkaan kerro kaikkea putken kunnosta. Esimerkiksi betoniputkissa vikaantumisen syy liittyy usein rakentamisen aikaisiin käytäntöihin tai muiden ulkopuolisten tekijöiden aiheuttamiin vahinkoihin. (Fenner 2000) Putken käyttöikää voivat vähentää esimerkiksi tukkeumat, hiekka, liete, puiden juuret, puutteellinen tuuletus tai jäteveden, maaperän tai pohjaveden laatu (Karttunen 2010a). Kunnossapidon ja saneerauksen tavoitteena on huolehtia verkoston toimintakunnosta. Yhtenä osana viemäriverkoston ylläpitoa on vuotovesien määrän vähentäminen jätevesivirtaamasta.

Monin paikoin vesihuoltolaitosten toiminta-alueet ovat kasvaneet viime vuosikymmenien aikana ja vesihuoltolaitokset ovat joutuneet investoimaan verkostojen laajennuksiin ja jätevedenpuhdistamoiden parannuksiin. Usein vesihuoltolaitosten budjetista on käytetty vain pieni osa olemassa olevien verkostojen ylläpitoon, minkä takia monien vesihuoltolaitosten kunnossapito on nykyään korjaavaa. Korjaava kunnossapito tarkoittaa toimintatapaa, jossa suurin osa ylläpidon resursseista käytetään jo ilmaantuneiden ongelmien korjauksiin. Samanaikaisesti muut verkoston osat ikääntyvät, olemassa olevat ja havaitsemattomat viat pahenevat ja uusia vikoja syntyy. (U.S.EPA 2002b)

Ennaltaehkäisevän kunnossapidon uskotaan olevan kustannustehokkaampaa kuin perinteinen korjaava kunnossapito (Fenner 2000). Se tarkoittaa kunnossapitoa, jossa ongelmia pyritään ennaltaehkäisemään jo ennen niiden ilmentymistä. Ennaltaehkäisevällä kunnossapidolla voidaan vähentää toimintahäiriöiden määrää, lisätä verkoston toimintavarmuutta ja sen käyttöikää. Samalla vältetään hätätyönä tehtävästä saneerauksesta aiheutuvat ylimääräiset kulut. Lisäksi säästöjä voidaan saada liittämällä putken saneeraus muihin rakennusprojekteihin, saneeraamalla pidempi osa viemäriä samalla kerralla tai jakamalla projekti pidemmälle aikajaksolle. Hyvällä suunnittelulla voidaan myös valita kyseiseen kohteeseen sopivin ja kustannustehokkain saneerausmenetelmä. (U.S.EPA 2002b)

Jotta viemärin heikko kunto ja sen toimintahäiriöt havaitaan ajoissa, vesihuoltolaitoksen tulee tarkkailla verkoston toimintaa säännöllisesti. Myös vesihuoltolaki velvoittaa vesihuoltolaitosta tarkkailemaan laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää viemäriverkostossa (L 681/2014). Lisäksi verkoston saneeraustarve tulisi selvittää ainakin silloin, kun siinä esiintyy toistuvasti toimintahäiriöitä, kunnossapitokustannukset nousevat merkittävästi, vuotojen määrä ylittää hyväksyttävän tason, viemäri on vaarassa sortua tai jos putkien, pumppaamoiden tai puhdistamon kapasiteetti ei verkostosta johtuvista syistä riitä (Karttunen 2010a).

Vuotovesistä hulevesien määrää verkostossa on yleensä helpompi vähentää kuin pohjavesien määrää. Esimerkiksi tarkastuskaivojen kunnostuksilla voidaan usein vähentää verkostoon pääsevien hulevesien määrää. Lisäksi erillisviemäröidyllä alueella hulevettä voi päästä jätevesiviemäriin luvattomien hulevesiliitäntöjen kautta. Tällöin hulevesiliitäntöjen irrottaminen jätevesiviemäristä ja niiden liittäminen sadevesiviemäriin vähentää vuotovesien määrää. Pohjaveden määrää verkostossa voidaan vähentää saneeraamalla huonokuntoisia putkia. (Karttunen 2010a) Lisäksi putkiasentajien ammattitaidon lisääminen ja liitostapojen parantaminen voi vähentää vuotoveden määrää pitkällä aikavälillä, sillä iso osa viemäriin vuotavasta pohjavedestä tulee putkiliitosten kautta (Karttunen et al. 2004).

2.5 Viemäriverkoston vuotojen tutkimusmenetelmät

Vuotovesilähteiden ja verkoston kunnan tutkiminen on edellytys sille, että saneeraukset osataan kohdistaa oikeille alueille. Jos saneerauksen kohdentaminen perustuu vain putken ikään, materiaaliin tai kokemuseräiseen tietoon, saatetaan saneerata putkia, joilla on parhaimmillaan kymmeniä vuosia käyttöikää jäljellä. Toisaalta huonokuntoisemmat, saneerausta nopeasti tarvitsevat putket voivat jäädä saneeraamatta. Verkoston todellisen kunnan tunteminen mahdollistaisi investoimisen niihin kohteisiin, joiden todellinen käyttöikä lähestyy loppuaan, mikä toisi säästöjä vesihuoltolaitoksille ja saneerauksen vaikuttavuus kasvaisi. (Luomanen et al. 2013)

Viemäreiden heikon kunnan ja toimintahäiriöiden havaitsemiseksi viemäreiden toimintaa tulee tarkkailla normaalin käytön yhteydessä. Säännöllistä toiminnan tarkkailua ovat esimerkiksi jätevesivirtaaman mittaaminen puhdistamoilla sekä pumppujen käyntiaikojen seuraaminen. Samalla voidaan arvioida vuotovesien määrää verkoston eri osissa. (Karttunen 2010a) Vuotovesimäärää voidaan arvioida alustavasti vertaamalla alueen talousveden kulutusta ja syntyvän jäteveden määrää. Vertailua voidaan tehdä koko kunnan alueelta sekä mahdollisesti pumppaamopiireittäin. Vertailua vaikeuttaa se, että yksittäisten kiinteistöjen vedenkulutustiedot saadaan yleensä vain vuositasolla. Vuotovesimäärien laskemisen lisäksi pumppaamojen kaukovalvontatiedoista saadaan yleensä tietoa viemäriverkostossa liikkuvista jätevesivirtaamista. Mikäli kaukovalvontatietojen perusteella epäillään vuotovesimäärien olevan merkittäviä, voidaan tarkempia tutkimuksia kohdistaa kyseiselle alueelle.

Vuotovesiselvitystä ja putken kunnan arviointia vaikeuttaa verkostojen sijainti maan alla. Kunnan määrittämiseen on käytössä monia tutkimusmenetelmiä, joilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Kehitystyötä kuitenkin tarvitaan luotettavampien tutkimusmenetelmien kehittämiseksi. (Costello et al. 2007) Suomessa yleisimmin käytettyjä menetelmiä ovat TV-kuvaus, virtausmittaukset, savukokeet sekä Vuove-menetelmä (Välisalo et al. 2008), joiden hyviä ja huonoja puolia on vertailtu taulukossa 1.

Taulukko 1. Suomessa yleisesti käytettyjen viemäriverkoston vuotojen tutkimusmenetelmien edut ja heikkoudet.

Menetelmä	Vahvuudet	Heikkoudet	Lähteet
Virtausmittaus	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan arvioida vuotoveden määrää mittausalueella ja löytää verkoston vuotavimmat osat • Voidaan tutkia sekä huleveden että varsinaisen vuotoveden määrää verkostossa 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei löydetä tarkkoja vuotokohtia • Vuotavimmilla alueilla tarvitaan yleensä lisätutkimuksia jollain muulla menetelmällä 	<ul style="list-style-type: none"> • U.S. EPA 2005 • U.S. EPA 2014
Savukoe	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan löytää reitit, joista hulevesi pääsee suoraan valumaan viemäriin • Edullinen ja nopea menetelmä 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei kerro verkostoon pääsevän huleveden määrää 	<ul style="list-style-type: none"> • U.S. EPA 2005
TV-kuvaus	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan tutkia verkoston sisäistä kuntoa • Laajasti käytetty ja hyvin tunnettu menetelmä 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei voida arvioida vuotoveden määrää • Hidas menetelmä 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirahadikusumah et al. 1998 • Gokhale & Graham 2004 • Hao et al. 2012
Vuove-menetelmä	<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan tutkia vuotoveden määrää viemäri-verkostossa • Mitataan virtaaman lisäksi jäteveden laatua, jonka perusteella laskeaan vuotoveden osuus prosentteina jätevesivirtaamasta 	<ul style="list-style-type: none"> • Vesihuoltolaitokset eivät voi tehdä itsenäisesti mittauksia, vaan ne tehdään koulutettujen mittaajien toimesta 	<ul style="list-style-type: none"> • Vuove-insinöörit Oy

2.5.1 Virtausmittaukset

Virtausmittauksilla mitataan jäteveden virtaamaa eli paljonko vettä kulkee mittauspisteen ohi valitussa aikayksikössä. Jätevesivirtaaman perusteella voidaan arvioida viemärissä liikkuvan vuotoveden määrää mittausjakson aikana. Virtausmittauksilla ei löydetä tarkkoja vuotokohtia, mutta niiden avulla voidaan rajata alueet, joilta tulee paljon vuotovesiä ja jotka vaativat lisätutkimuksia. Tällöin tutkimusresursseja osataan kohdentaa oikeille alueille. Mittaukset voidaan suorittaa joko kiinteillä tai siirrettävillä mittauslaitteilla jätevedenpuhdistamolla, pumppaamoilla tai halutuissa verkoston osissa. (U.S. EPA 2005)

Virtausmittauksilla selvitetään virtaaman vaihteluita eri vuorokauden- tai vuodenaikoina. Vuotoveden määrä saadaan vähentämällä jätevesivirtaamasta viemäriin liittyneiden kiinteistöjen vedenkulutus. Mittausaika tulee pitää riittävän pitkänä, jotta satunnaiset vaihte-

lut vedenkulutuksessa voidaan huomioida ja vuotovesien määrää voidaan arvioida riittäväällä tarkkuudella. Kuivana ajanjaksona mittauksilla saadaan selville, paljonko viemäri-verkoston vuotaa pohjavesiä. Varsinaisen vuotoveden suurimmat arvot saadaan pohjaveden ollessa korkealla. Yleensä pohjavedenpinta on korkeimmillaan keväällä lumen sulamisen jälkeen. Lisäksi varsinaisen vuotoveden määrää voidaan arvioida yöaikaisilla mittauksilla, jolloin jäteveden määrä viemäriissä on minimissään ja verkostossa olevan veden voidaan olettaa olevan pääosin pohjavettä. (U.S. EPA 2014).

Hulevesi edustaa sateiden vaikutusta viemäriverkoston. Sen määrää voidaan tutkia tekemällä mittaukset sateisena aikana ja vertaamalla tuloksia kuivan ajan mittaustuloksiin, joissa pohjavedenpinta on suurin piirtein samalla tasolla. Huleveden määrä lasketaan vähentämällä jätevesivirtaamasta kiinteistöjen vedenkulutus sekä varsinaisen vuotoveden määrä. (U.S. EPA 2014) Vertailua voi vääristää jossain määrin kiinteistöjen vedenkulutuksen ajallinen vaihtelu. Yleensä sateiden aiheuttama virtaaman muutos on kuitenkin niin suuri, että virtausmittauksilla löydetään alueet, joista hulevesiä pääsee tavallista enemmän verkostoon. Jatkamalla virtausmittauksia sadetapahtuman jälkeen muutaman päivän ajan, voidaan selvittää, johtuvatko vuotovedet ensisijaisesti hulevesien pääsystä suoraan viemäriin vai pohjavedenpinnan nousun aiheuttamasta varsinaisen vuotoveden määrän lisääntymisestä. (Seppinen 2010) Suorat hulevedet lisäävät jätevesiviemäriissä liikkuvia virtaamia pian sadetapahtuman alkamisen jälkeen. Toisaalta sadetapahtuman päättyessä niiden vaikutus loppuu nopeasti. Sen sijaan pohjavedenpinnan nousun aiheuttama vaikutus virtaamaan alkaa myöhemmin, mutta voi kestää useita päiviä sateen jälkeen. (U.S. EPA 2014)

Vuotovesien määrään verkostossa vaikuttavat monet tekijät, jotka on hyvä huomioida tulosten tulkinnessa. Tärkeimpiä ympäristötekijöitä ovat sadetapahtumat, pohjaveden pinnan korkeus sekä aikaisemmat säätapaukset (Staufer et al. 2012). Lisäksi virhettä mittaustuloksiin voi aiheuttaa jäteveden mukana kulkeva ja mittaustuloksiin tarttuva kiintoaine. Antureihin kerääntyvä kiintoaine voi häiritä veden virtausta mittaustuloksilla ja aiheuttaa virhettä erityisesti pidempiaikaisille mittauksille.

2.5.2 Savukokeet

Savukokeilla voidaan löytää erityisesti huleveden lähteitä. Siinä viemäriin tuotetaan savua, joka leviää purkautuen ulos viemärin avoimista päistä, kuten kiinteistöjen tuuletusputkista, tarkastuskaivoista, putken vuoto- ja vauriokohdista sekä luvattomista tai viallisista sadevesiliitännöistä viemäriin. (U.S. EPA 2005) Kuvassa 2 on esitetty esimerkkikuvat kahdesta ensin mainitusta tapauksesta.



Kuva 2. *Savu purkautuminen kiinteistön tuuletusputkesta ja tarkastuskaivosta.*

Savu tuotetaan tarkastuskaivossa joko savukoneen tai pienen savukranaatin avulla (Sepinen 2010). Puhaltimen avulla savu pakotetaan liikkumaan tarkastuskaivosta tutkittaviin viemäriin. Tarvittaessa muut tarkastuskaivoon tulevat putket voidaan tukkia tulppien tai hiekkasäkkien avulla, jotta savu menisi vain haluttuun suuntaan. Käytetyn savun tulee olla myrkytöntä ja hajutonta, eikä se saa värjätä pintoja. (U.S. EPA 1991)

Savun kulkeminen viemärissä estyy, jos putki on täynnä vettä. Siksi myös notkolla oleva putki voi toimia vesilukkona, mikä estää savun kulkemisen eteenpäin. Lisäksi jäinen maa, lumi tai asfaltti voi estää savun kulkeutumisen maan pinnalle viemäriputkien vauriokohdista ja vuotavista liitoksista. Savukoetta ei tulisi tehdä tuulen ollessa voimakas, sillä se voi puhaltaa savun pois purkautumiskohdasta ennen kuin se ehditään havaita. (U.S. EPA 1991)

Savukokeista on tiedotettava alueen asukkaita ja pelastuslaitosta (U.S. EPA 1991). Kiinteistöjen tiedottaminen on tärkeää, sillä jokaisen kiinteistön omistajan on huolehdittava, että käyttämättömien lavuaarien ja lattiakaivojen vesilukoissa on vettä. Kuivien vesilukojen kautta savu voi päästä sisälle kiinteistöön. Pelastuslaitosta tulee tiedottaa mahdollisten väärin hälytysten takia.

2.5.3 TV-kuvaus

TV-kuvausta käytetään putken sisäisen kunnan tutkimiseen jätevesi- ja hulevesiviemäreissä (Liu & Kleiner 2013). Siinä viemäriin lasketaan kameralla ja valonlähteellä varustettu kuvauslaitteisto, joka kulkee putkea pitkin tarkastuskaivosta toiseen kuvaten samalla putken. Videomateriaali esitetään TV-ruudulla, josta kuvaaja tunnistaa ja luokittelee putken vauriot. Kun mahdollinen vaurio havaitaan, kuvauslaitteisto yleensä pysäytetään, jotta kuvaajalla on riittävästi aikaa arvioida ja tallentaa havainto. Tästä syystä putkiosuuden kuvaamiseen tarvittava aika riippuu putken kunnosta ja vaurioista. (Costello et al. 2007) Lisäksi putki tulee puhdistaa ennen TV-kuvausta laadukkaan lopputuloksen saamiseksi, mikä pidentää TV-kuvauksen suorittamiseen tarvittavaa aikaa (Hao et al. 2012). Toisaalta putken puhdistus toimii samalla huoltotoimenpiteenä kyseiselle osuudelle.

TV-kuvauksella voidaan tunnistaa putken vauriokohtia, joista vuotovesi pääsee suotautumaan viemäriin. Menetelmällä ei kuitenkaan pystytä arvioimaan tulevan vuotoveden määrää. (Gokhale & Graham 2004) TV-kuvauksella voidaan tutkia vain vedenpinnan yläpuolinen alue, eikä menetelmällä saada tietoa putken ulkopinnan vaurioista (Hao et al. 2012). TV-kuvauksen suurin heikkous on kuitenkin tulkinnan subjektiivisuus. Koska kuvaaja tunnistaa ja arvioi vauriot visuaalisesti, on mahdollista, että vaurion vakavuus arvioidaan väärin tai vauriota ei huomata ollenkaan. Kuvauksen luotettavuuteen vaikuttavat esimerkiksi kuvaajan ammattitaito, kokemus ja keskittyminen. Lisäksi kuvauskalusto ja videokuvan laatu vaikuttavat tulosten luotettavuuteen. Laadukkaan videokuvan saamiseksi kuvauskalustossa tulee olla riittävän tehokas valaistus. (Wirahadikusumah et al. 1998)

Heikkouksistaan huolimatta TV-kuvaus on laajasti käytetty menetelmä putken toiminnallisen kunnan selvittämiseen (Liu & Kleiner 2013), ja sen tekniikka on kehittynyt merkittävästi vuosien aikana. Tämän hetkinen kehitystyö keskittyy videokuvan laadun ja huonolaatuisen kuvan tulkinnan parantamiseen sekä tulkinnan automaation kehittämiseen esimerkiksi kuvankäsittelytekniikoiden avulla (Hao et al. 2012, Costello et al. 2007).

2.5.4 Vuove-menetelmä

Vuove-menetelmällä tutkitaan viemäriverkoston sisään vuotavien vesien määrää. Menetelmässä mitataan veden virtaamaa ja sen laatua tarkastuskaivoon tulevissa putkissa. Menetelmään valittujen laatuparametrien perusteella Vuove-ohjelma laskee jäteveden vuotoprosentin eli miten suuri osa jätevedestä on puhdasta vuotovettä. Kun tiedetään jäteveden virtaama ja vuotovesiprosentti, voidaan laskea vuotoveden absoluuttinen määrä litroina sekunnissa. (Vuove-insinöörit Oy)

Mittauspisteeksi valitaan yleensä risteyskaivo, jolloin samasta pisteestä saadaan tietoa monelta verkostoalueelta. Mitattavan pisteen vuotovesimäärästä vähennetään edellisen

mittauspisteen vuotovesimäärä, jolloin saadaan laskettua todellinen vuotovesimäärä mittauspisteiden välillä. Tutkittavan verkostoalueen vuotovesimäärä ja -osuus nähdään jo mittausten aikana, jolloin vuotamattomia tai lievästi vuotavia alueita ei tarvitse tutkia tarkemmin. Lisäksi menetelmällä voidaan löytää puhdasvesivuotoja sekä meri-, joki- tai järviveden purkautumiskohtia viemäriverkostoon. (Vuove-insinöörit Oy)

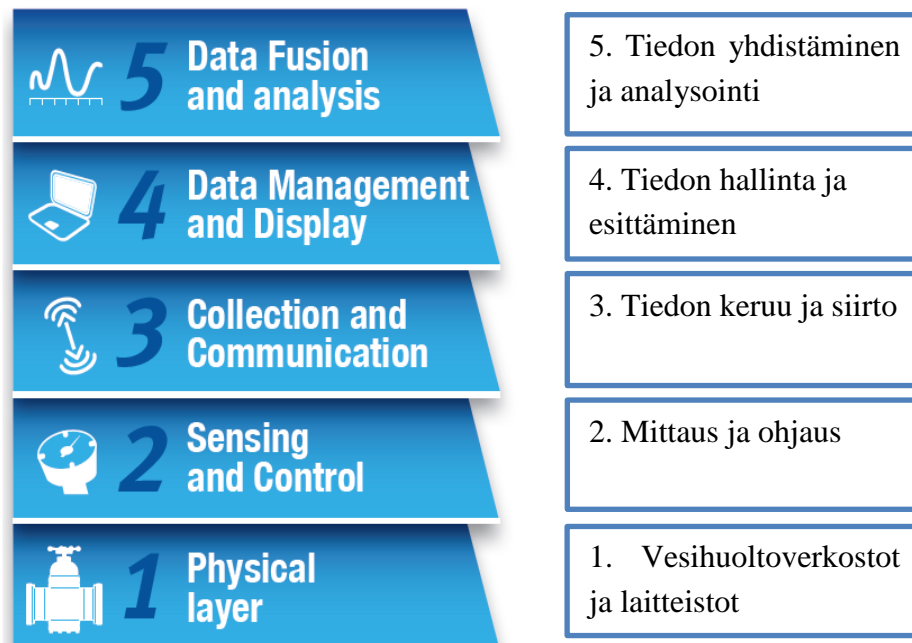
3. VERKOSTOTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN VIEMÄRILAITOKSILLA

Ajantasaista ja luotettavaa verkostotietoa voidaan hyödyntää monin tavoin niin päivittäisessä verkoston ylläpidossa kuin päätöksen teon tukena (U.S. EPA 2009). Kerättyä hyvälaatuista dataa tulee olla riittävästi, sillä tehtyjen analyysien laatu ja luotettavuus riippuvat pitkälti lähtötiedoista. Siksi verkostotiedon lisäämisen tulisi olla tavoitteena kaikilla kunnallisilla vesihuoltolaitoksilla (Luomanen et al. 2013). Luotettavien tulosten saaminen verkoston toiminnasta edellyttää tiedon järjestelmällistä keräämistä, sen analysointia sekä sen ylläpitoa tietokannassa. Tällöin kerätyn tiedon avulla voidaan nähdä ja ymmärtää erilaisia trendejä ja kehityssuuntia. (U.S. EPA 2009)

Tiedon puute ei ole aina ongelma. Yleensä vesihuoltolaitokset analysoivat vain pienen osan keräämästään datasta, jolloin olemassa olevaa tietoa jää hyödyntämättä. Syynä on usein se, ettei vesihuoltolaitoksilla ole henkilökuntaa, jolla olisi aikaa ja osaamista analysoida kerättyä dataa. Teknologian kehitys tuo kuitenkin uusia työkaluja, joiden avulla tiedon analysointia voidaan automatisoida. Työkalut mahdollistavat tietojen paremman hallinnan ja laajemman hyödyntämisen vesihuoltolaitoksilla. (Thompson & Kadiyala 2014)

3.1 Älyvesi

Älyvesi tarkoittaa teknologiaa, jolla kerätään, hallitaan ja hyödynnetään vesihuollon verkostotietoa. Tavoitteena on kehittää verkostojen toimintaa älykkäämmäksi ja saada tarkempaa tietoa verkoston toiminnasta. Älyvesi-ratkaisujen avulla voidaan muun muassa automatisoida, kauko-ohjata ja optimoida verkoston toimintaa, parantaa sen ylläpitoa sekä priorisoida saneeraustarpeita. (SWAN) Älyvesi-verkostojen toimintaa voidaan havainnollistaa viiden tason avulla, missä jokainen taso vuorovaikuttaa tyypillisesti viereisten tasojen kanssa (kuva 3).



Kuva 3. Älyvesi-järjestelmien tasot vuorovaikuttavat tyypillisesti viereisten tasojen kanssa (muokattu lähteestä SWAN).

Älyvesi-verkostojen ensimmäisellä tasolla ovat vesihuoltoverkostojen fyysiset komponentit eli ne rakenteet ja laitteet, joita tarvitaan veden johtamiseen vesilaitokselta kulu-
tuspisteisiin ja sieltä jätevedenpuhdistamolle. Nämä rakenteet ja laitteet ovat kosketuk-
sissa veden kanssa, ja niihin kuuluvat esimerkiksi putket, pumpput, venttiilit ja vesialtaat.
Fyysiseen tasoon ei liity tiedon keräämistä tai hallintaa. (SWAN)

Toisella tasolla ovat laitteet ja anturit, jotka mittaavat tai ohjaavat vesihuoltoverkoston
toimintaa. Siihen sisältyvät myös kauko-ohjattavat laitteet. Pohjimmiltaan mittaus ja oh-
jaus -taso on ainoa rajapinta fyysisen vesihuoltoverkoston ja tiedonhallintajärjestelmän
välillä. Näin ollen se mahdollistaa älyvesi-järjestelmien käytön. (SWAN)

Kolmas taso sisältää tiedon keräämisen, siirron ja tallentamisen. Tämän tason tarkoituk-
sena on mahdollistaa tiedon saaminen oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Lisäksi se
mahdollistaa automaatio- ja säätösignaalien lähettämisen, minkä avulla voidaan ohjata
verkostossa olevia laitteita. Kolmannen tason laitteet ja ohjelmat eivät ole enää kosketuk-
sissa veteen, vaan ne siirtävät dataa mittaus- ja ohjauslaitteistojen sekä ylempien tasojen
välillä. (SWAN)

Neljännellä tasolla eri lähteistä saatu tieto kootaan yhteen ja käyttäjä voi hyödyntää tietoa.
Data voi olla valmiiksi esikäsiteltyä, tietokantaan tallennettua ja siirrettyä. Tälle tasolle
kuuluvat erilaiset työkalut, joiden avulla tietoa havainnollistetaan, kuten paikkatieto-oh-
jelmat ja muut verkostojen visualisointiin käytettävät ohjelmat, valvomoiden hälytysjär-
jestelmät sekä graafiset ohjauskäyttöliittymät. Tämä on ensimmäinen taso, jolla ihminen

vuorovaikuttaa älyvesi-verkoston kanssa. Näin ollen neljännelle tasolle kuuluvat myös operaattorin tai korkeamman järjestelmän tason antamat ohjeet, joiden mukaan verkoston laitteita ohjataan ja säädetään. (SWAN)

Viimeisellä tasolla tietoa yhdistellään ja analysoidaan. Tarkoituksena on tuottaa raakadatasta prosessoitua tietoa verkostosta. Isosta tietomäärästä pyritään saamaan luotettavaa tietoa esimerkiksi verkoston kunnosta tai häiriöistä. Viidennen tason työkaluja ovat esimerkiksi hydraulinen mallinnus, älykkäät paineenhallinta- tai pumppausjärjestelmät sekä energian kulutuksen optimointijärjestelmät. Myös erilaiset päätöksentekoa tukevat työkalut kuuluvat tälle tasolle. Viides taso on kauimpana fyysisestä vesihuoltoverkostosta, ja on näin ollen nykyisten älyvesi-verkostojen vähiten kehitetty osa. Se tarjoaa kuitenkin monia mahdollisuuksia, joiden avulla voitaisiin parantaa vesihuoltoverkostojen hallintaa. (SWAN)

3.2 Verkostotietojen kerääminen

Verkostotiedon hyödyntäminen edellyttää, että tiedon kerääminen on järjestelmällistä ja kattavaa. Vähimmillään vesihuoltolaitoksen tulee tietää verkoston perustiedot eli putkien ja laitteiden sijainti, koko, määrä ja asennusvuosi. Myös perustamisolosuhteet olisi hyvä tallentaa samaan järjestelmään. (Välisalo et al. 2008) Verkoston sijainti- ja kokotietoja saadaan selville kartoittamalla. Perustietojen lisäksi vesihuoltolaitoksen päivittäisessä toiminnassa syntyy merkittävä määrä tietoa verkoston toiminnasta. Tarkkailemalla säännöllisesti verkoston toimintaa ja kirjaamalla systemaattisesti ylös siihen liittyvää tietoa, voidaan näitä tietoja hyödyntää kunnossapidon ja saneerauksen suunnittelussa. Myös vesihuoltolaki velvoittaa vesihuoltolaitoksia tarkkailemaan laitteittensa kuntoa ja vuotoveden määrää verkostossa (L681/2014). Lisäksi verkostosta voidaan mitata haluttuja suureita. Erityisesti virtaamatieto kertoo viemäriverkoston toiminnasta sekä vuotovesien määrästä ja niiden vaikutuksesta verkostoon. Virtaamaa seurataan yleensä pumppaamoilla, mutta myös muualle verkostoon voidaan asentaa kiinteitä tai siirrettäviä virtausmittareita.

Automaatio- ja tiedonsiirtotekniikka on kehittynyt merkittävästi viime vuosina, mikä mahdollistaa verkostotiedon monipuolisemman hyödyntämisen ja uusien sovellusten kehittämisen. Tiedonsiirtotekniikan avulla tietoja voidaan kerätä maantieteellisesti laajalle alueelle ulottuvan verkoston eri osista reaaliaikaisesti ja se mahdollistaa kaukovalvonnan, kaukokäytön sekä verkoston automaattisen ohjauksen. (Karttunen 2010a) Lisäksi verkoston toiminnasta saadaan runsaasti tietoa mallinnuksella (Karttunen 2010b). Nämä työkalut mahdollistavat monet verkostotiedon hyödyntämisen sovelluksista, antavat tietoa verkoston kunnosta ja toiminnasta sekä mahdollistavat verkoston paremman käytön ja kunnossapidon.

3.2.1 Kartoittaminen

Kartoittamalla saadaan selville verkoston perustietoja. Erityisesti johtojen ja laitteiden tarkka sijaintitieto mahdollistaa kunnossapitotöiden sujuvan hoidon. Pääosin vesihuoltolaitoksilla on olemassa tarkat kartat verkostoistaan koordinaatti- ja sijaintitietoineen. (Karttunen 2010a) Kuitenkin erityisesti pienissä kunnissa verkostojen sijaintitieto voi olla puutteellista, tai se voi olla pelkästään paperikartoilla tai verkostomestarin henkilökoh- taisen tiedon varassa (Luomanen et al. 2013). Vesihuoltolain mukaan verkostojen sijain- titietojen tulee olla sähköisessä muodossa vuoden 2016 loppuun mennessä (L 681/2014). Lainmuutoksen myötä verkostotiedon digitoiminen lisääntyy todennäköisesti jatkossa.

Kartoittaminen tapahtuu joko GPS-mittauksena tai takymetrillä. GPS-mittauksessa ra- kenteen sijainti määritetään satelliittipaikannusjärjestelmien avulla. Takymetrillä mita- taan vaaka- ja pystykulmia sekä etäisyyttä halutusta kohteesta. Ennen mittausta takymetri täytyy orientoida eli määrittää sen sijainti vähintään kahden kiintopisteen avulla. Orien- toinnin jälkeen mitattavaan pisteeseen viedään prisma, joka heijastaa takymetristä lähe- tetyn säteen takaisin takymetriin. Siitä laite laskee mitattavan kohteen etäisyyden ja suun- nan. (Lähdemäki 2016)

Viemäriverkoston maan pinnalle ulottuvat rakenteet tulee kartoittaa mieluiten heti niiden rakentamisen jälkeen. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi tarkastuskaivojen ja sadevesi- kaivojen kannet ja pumppaamot. Samalla selviää yleensä myös maanalaisten viemäreiden sijainti. Viemäriputkien korkeusasema saadaan selville vaaitsemalla tarkastuskaivon kan- nen korkeus sekä kaivoon tulevien ja sieltä lähtevien putkien vesijuoksun korkeus. Pai- neviemäreissä vaaitaan puolestaan putken laen korkeus. Kartoituksen yhteydessä selvite- tään yleensä myös putken koko, materiaali, viemärintijärjestelmä, virtaussuunta, putken liitostapa sekä rakennusvuosi. Tonttiviläelmäistä kartoitetaan ainakin yleisellä alueella oleva osa. (Karttunen 2010a)

3.2.2 Tiedonsiirtotekniikka

Tiedonsiirtotekniikkaa tarvitaan, jotta verkoston eri osista saatava tieto saadaan kerättyä haluttuun paikkaan. Lisäksi se mahdollistaa verkoston laitteiden kaukovalvonnan ja kau- kokäytön. Tavallisesti vesihuoltoverkoston tiedonsiirtojärjestelmässä siirretään muuttu- nutta prosessitietoa, kuten mittausdataa, käyntitilamuutoksia ja hälytyksiä. Yleensä siir- rettävän tiedon määrä ei ole kovin suuri, minkä takia tiedonsiirtojärjestelmä voi olla melko vaatimaton. Tavallisesti tiedonsiirron tarve on jatkuvaa, mutta jos siirrettävä tieto on pääosin hälytystietoa, voivat myös ei-jatkuvat tiedonsiirtomenetelmät sopia kohtee- seen. Kauko-ohjaus ja -valvonta edellyttävät luotettavaa ja turvallista tiedonsiirtojärjes- telmää. (Karttunen 2010a)

Perinteisesti tiedonsiirto on tapahtunut kuparikaapeleita pitkin. Niitä on vaihdettu monin paikoin valokuitukaapeleihin, jotka voivat siirtää suurempi tietomääriä kuin kuparikaapelit. (Karttunen 2010a, Thompson & Kadiyala 2014) Kiinteiden kaapeleiden etuna on jatkuva valvottu yhteys. Toisaalta kaapelit voivat katketa esimerkiksi kaivettaessa maata kaivinkoneella. Lisäksi ukkosen aiheuttamat ylijännitepiikit voivat vioittaa sähköisiä kaapeleita. Jos vesihuoltolaitoksella ei ole ollut omaa tiedonsiirtokaapelia, yhteydet on voitu usein vuokrata paikalliselta teleyhtiöltä. Jos tiedonsiirron tarve on ollut vähäinen eikä jatkuvaa yhteyttä ole tarvittu, on voitu käyttää myös varsin edullista yhteyttä puhelinverkon modeemilla. (Karttunen 2010a)

Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden kehitys on vähentänyt kaapeliverkkojen käyttöä. Viime vuosina yleisin tiedonsiirtomuoto on vesihuoltolaitoksilla ollut oman radiotaajuuden ja radiomodeemin käyttö. Sen etuna on, etteivät ukkonen tai kaivinkoneen toiminta vaikuta laitteistojen toimintaan tai tiedonsiirtoon. Radiotaajuuden käytöstä pitää maksaa vuosittain pieni lupamaksu viranomaiselle, mutta muuten järjestelmän käyttökustannukset ovat pienet. Rakennuskustannukset voivat kuitenkin kohota suuriksi johtuen korkeiden mastojen rakentamisesta. Lisäksi sateinen sää, tai mäkinen tai peitteinen maasto voi aiheuttaa kuuluvuusongelmia tiedonsiirtoon. Myös langattomien puhelin- ja laajakaistaverkkojen käyttö tiedonsiirtotekniikkana on kasvanut. (Karttunen 2010a) Niiden kautta voidaan siirtää suuria tietomääriä ja tarvittava infrastruktuuri on yleensä jo olemassa, mikä vähentää järjestelmän hankintakustannuksia. Vaikka järjestelmän käytöstä joudutaan maksamaan paikalliselle puhelinverkkoyhtiölle, tulevat puhelin- ja laajakaistaverkkojen käyttökustannukset todennäköisesti laskemaan edelleen tulevaisuudessa. (Thompson & Kadiyala 2014)

3.2.3 Valvomo-ohjelma

Valvomo-ohjelma eli SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) toimii vesihuoltolaitosten käyttöliittymänä käyttäjän ja prosessin välillä. Se tarkkailee verkostossa olevien mittalaitteiden toimintaa, raportoi mittausten tuloksista sekä antaa tarvittaessa hälytyksiä verkoston häiriötilanteista. Kaukovalvonnan lisäksi sen avulla voidaan kauko-ohjata tai automatisoida verkoston toimintaa. (Temido et al. 2014) Ohjelmaan voidaan integroida myös muita käytön tarvitsemia tietojärjestelmiä, kuten ylemmän tason ohjausjärjestelmä tai kunnossapitojärjestelmä (Karttunen 2010a). SCADA:n avulla voidaan valvoa ja ohjata niin vedenjakeluverkostoa kuin jätevesi- ja hulevesiviemäriverkostoja (Temido et al. 2014).

Tällä hetkellä valvomo-ohjelmaa käytetään pääosin kaukovalvontaan (Temido et al. 2014). Automaatio- ja tiedonsiirtotekniikan kehityksen ansiosta vesihuoltolaitosten olisi kuitenkin mahdollista siirtyä kaukovalvonnasta kauko-ohjaukseen tai jopa täysin automatisoituun ohjaukseen. Luontevinta automaatiotason nosto on silloin, kun vanhentuneita

järjestelmiä ollaan joka tapauksessa uusimassa. Samalla verkoston valvontatehtäviä voidaan muuttaa ympärivuorokautisesta miehityksestä varallaoloksi, jolloin päivystys voidaan tehdä päivystäjän kotoa käsin. (Karttunen 2010a)

3.2.4 Pumppaamoilta saatava virtaamatieto

Pumppaamoilta saadaan yleensä tietoa viemärin toiminnasta. Virtaamatietojen avulla voidaan arvioida esimerkiksi alueellisia vuotovesimääriä ja löytää verkoston vuotavimmat alueet. Jotta tietoa voidaan hyödyntää, sen tulee olla luotettavaa ja ajantasaista. Yleisimmät pumppaamoilla käytetyt virtausmittausmenetelmät ovat astiamittaus, pumppujen nimellistuottoon perustuva mittaus sekä magneettisen virtausmittarin käyttö (Laaksonen 2015).

Käytetyin ja monella pumppaamolla ainut käytössä oleva mittausmenetelmä on astiamittaus. Siinä mitataan imualtaan vedenpinnan nousua, jonka perusteella lasketaan astian täyttymisnopeus ja tulovirtaama. Pumppauksen aikana tulovirtaaman oletetaan pysyvän tasaisena. Todellisuudessa virtaama vaihtelee, mikä aiheuttaa virhettä tulokseen erityisesti silloin, kun tulovirtaama on suurempi kuin pumppujen pumppaama virtaama. Veden pinnankorkeuden lisäksi virtaaman laskentaan tarvitaan tieto imualtaassa olevan veden määrästä, mitä varten pumppaamon logiikkaan tulee syöttää tarvittavat parametrit. Ongelmana on, ettei imukaivo ole aina säännöllisen muotoinen, mikä aiheuttaa virhettä tilavuuden laskentaan. Lisäksi vedenpinta voi nousta ajoittain tuloputken yläpuolelle, jolloin osa vedestä jää tuloputkeen. Näissä tilanteissa parametrien asettaminen niin, että laskennasta saataisiin jokaisessa tilanteessa luotettavia tuloksia, on vaikeaa. Astiamittauksen luotettavuutta voidaan kuitenkin jossain määrin parantaa tarkistamalla pumppaamon logiikkaan asetetut parametrit. (Laaksonen 2015)

Nimellistuottomenetelmä perustuu pumpun valmistajan ilmoittamaan pumppujen nimellistuottoarvoon. Lähtövirtaama määritetään kertomalla pumppujen käyntiaika pumppujen nimellistuotolla. Menetelmä on tarkka, mikäli pumpput toimivat ilman ongelmia ja todellinen tuotto vastaa nimellistuottoa eli käytännössä silloin, kun pumpput ovat uusia. Pumppujen ikääntyessä menetelmän luotettavuus heikkenee. Lisäksi jos pumppaamossa kaksi pumppua toimii yhtä aikaa, logiikkaan on asetettava myös kahden pumpun yhtäaikaiselle käytölle määritetty nimellistuottoarvo. Jos tätä ei oteta huomioon, laskettu virtaamadata ei ole enää luotettavaa. (Laaksonen 2015)

Magneettimittarin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Putkessa virtaava vesi toimii magneettikentässä liikkuvana johtimena, johon indusoituu virtausnopeuteen verrannollinen jännite. (Karttunen et al. 2004) Magneettimittari on erittäin tarkka, luotettava ja reaaliaikainen mittausmenetelmä. Sen huollontarve on vähäinen eikä se ole häiriöaltis. Magneettimittarit ovat yleisiä uusissa tai vastikään saneeratuissa jätevedenpumppaamoissa. Pumppaamon rakentamisen yhteydessä mittari saadaan asennettua pumppaa-

mon paineputkeen. Vanhoihin pumppaamoihin asentaminen on vaikeampaa, ja se voidaan tehdä pumppaamon saneerauksen yhteydessä tai rakentamalla erillinen mittarikaivo mittaria varten. Magneettimittari vaatii riittävästi tilaa ja suoraa putkiosuutta sekä ennen että jälkeen mittarin. (Laaksonen 2015)

Magneettimittarin asentaminen vanhoille pumppaamoille on merkittävä investointi, jos pumppaamoa ei muuten tarvitse saneerata. Näin ollen vanhoilla pumppaamoilla vaihtoehtoisiksi jäävät usein astiamittaus tai nimellistuottomenetelmä. Nimellistuottolaskenta on tarkempi, mutta sen luotettavuus heikkenee pumppujen ikääntyessä. Astiamittauksen luotettavuutta voidaan parantaa tarkistamalla asetettujen parametrien oikeellisuus. (Laaksonen 2015)

3.2.5 Toiminnallisen tiedon kerääminen

Vesihuoltolaitosten päivittäisessä toiminnassa syntyy merkittävä määrä tietoa verkostosta ja sen kunnosta. Toiminnallisia tietoja voidaan hyödyntää monin tavoin kunnossapidon ja saneerausten suunnittelussa, jos ne dokumentoidaan järjestelmällisesti. Esimerkiksi häiriötilanteet, kuten tukokset, sortumat, ylivuodot ja tulvat, kertovat viemärin kunnosta ja kapasiteetin riittävydestä. Olennaista on, että dokumentoitavista verkoston vikatiedoista selviävät häiriöiden syyt ja seuraukset (Välisalo et al. 2008). Häiriötilanteiden lisäksi asiakasvalitukset sekä käytön, kunnossapidon ja korjausten aikana tehdyt havainnot antavat tietoa verkoston ongelmista (Saastamoinen 2015).

Kuntotutkimuksilla, kuten viemärikuvauksilla, saadaan lisää tietoa viemäriverkoston toiminnasta. Myös tutkimusten raportit ja saatu kuntotieto tulee dokumentoida, jotta sitä voidaan hyödyntää verkostojen ylläpidon suunnittelussa. (Mustonen 2010) Lisäksi tallennettavia tietoja ovat verkostolle tehdyt toimenpiteet, esimerkiksi komponenttien vaihdot, tukosten aukaisut, vuotojen korjaukset ja verkoston huuhtelut (Välisalo et al. 2008). Korjausten ja muiden tehtyjen toimenpiteiden kustannusten dokumentointi auttaa tulevien toimenpiteiden kustannusten arvioimisessa, minkä avulla voidaan laskea esimerkiksi saneerauksen kannattavuutta (Saastamoinen 2010).

Toiminnallisten tietojen tallentaminen karttapohjaiseen verkkotietojärjestelmään auttaa tietojen havainnoimisessa ja analysoinnissa. Kartalta voidaan havaita visuaalisesti esimerkiksi huonokuntoiset verkostoalueet. Lisäksi tiedot saadaan järjestelmästä kootusti ulos yhdistettynä muihin verkoston tietoihin, jolloin tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi verkoston kunnon kehittymisen mallintamisessa. (Saastamoinen 2015) Tiedon dokumentoinnin parantamiseksi ainakin korjausryhmällä tulisi olla käytössään verkkotietojärjestelmään kytketty mobiililaitte. Mobiililaitteella tallennettava tieto lisätään verkkotietojärjestelmään korjausten yhteydessä, jolloin tieto on välittömästi myös työnjohdon sekä omaisuuden hallintaa ja saneerauksia suunnittelevien henkilöiden käytettävissä. (Mustonen 2010)

3.2.6 Vedenkulutustieto

Vedenkulutustietoa tarvitaan laskutuksen perusteeksi, mutta sitä voidaan hyödyntää myös vuotovesimäärien laskemiseen verrattaessa alueen vedenkulutusta sekä alueelta pumpattuja jätevesimääriä. Nykyään tieto kulutuspisteiden vedenkulutuksesta saadaan yleensä vuositasolla. Siirtymällä etäluettaviin vesimittareihin saataisiin vedenkulutustietoa tiheämmin, mikä tarkentaisi myös vuotovesiselvityksiä.

Tavallisen vesimittarin luenta tapahtuu paikan päällä kirjaamalla mittarin näyttämä lukema ylös. Yleensä luennan tekee asiakas itse kerran vuodessa. Lisäksi vesihuoltolaitoksen olisi hyvä suorittaa luenta 1–4 vuoden välein (Suomen Kuntaliitto 2001). Jos vedenkulutuksesta halutaan ajantasaista ja reaaliaikaista tietoa, tarvitaan etäluettavia mittareita. Etäluettava mittari luetaan AMR (Automatic Meter Reading) tai AMI (Advanced Meter Infrastructure) -tekniikalla. AMR tarkoittaa mittarin luenta ohi ajavasta autosta tai muuten mittarin lähettyviltä, ja AMI tarkoittaa mittareiden luenta haluttuun paikkaan langattoman tiedonsiirtojärjestelmän avulla. (Sempere-Payá et al. 2013)

Vaikka myös viemärilaitos hyötyisi vedenkulutuksen tarkemmasta mittaamisesta, suurimmat hyödyt etäluettavista mittareista kohdistuvat vedenjakelupuolelle. Ne tarjoavat mahdollisuuksia vesivarojen tehokkaammalle käytölle ja paremmalle vesijohtoverkon hallinnalle. Niiden avulla voidaan esimerkiksi paikantaa vesijohtovuotoja, optimoida vedenjakelun prosesseja sekä kehittää vesijohtoverkoston kunnossapitoa. (Temido et al. 2014) Edellä mainituista syistä etäluettavat mittarit yleistyvät maailmalla. Myös Suomessa kiinnostus etäluettavia vesimittareita kohtaan kasvaa, ja joissain kunnissa niihin ollaankin siirtymässä. (Vähäsöyrinki 2015)

3.2.7 Viemäriverkoston mallintaminen

Mallinnuksella voidaan tutkia verkoston toimintaa eri tilanteissa. Tietokoneohjelman avulla lasketaan verkoston vedenkorkeustasot, virtaamat ja muut tekijät halutun tarkastelujakson aikana. Viemäriverkoston mallinnus voidaan jakaa kahteen osaan. Hydrologisessa mallinnuksessa lasketaan sadetapahtuman aiheuttamat vuoto- ja hulevesivirtaamat verkoston solmupisteisiin. Hydraulisessa mallinnuksessa lasketaan veden pinnankorkeudet verkoston eri osissa jätevesivirtaamien ja vuotovesivirtaamien perusteella. (Karttunen 2010b)

Mallinnusta voidaan hyödyntää niin uusien verkostojen mitoittamiseen kuin olemassa olevan verkoston kapasiteettitarkasteluihin. Uusista verkostoista voidaan mitoittaa putket, pumppaamot, tasausaltaat, ylivuodot sekä muut hydrauliset rakenteet. Olemassa olevasta systeemistä voidaan tutkia sen hydraulista kapasiteettia ja pullonkaulakohtia. Lisäksi voidaan tutkia maankäytön muutosten vaikutuksia verkoston kapasiteetin riittävyyteen ja saaneeraustarpeeseen, analysoida verkoston vuotovesitilannetta sekä arvioida pumppaamoi-

den, tasausaltaiden, ylivuotojen ja muiden hydraulisten rakenteiden toimintaa. (Karttunen 2010b) Myös saneerauksen vaikutuksia voidaan arvioida mallinnuksen avulla mallintamalla tilannetta ennen ja jälkeen saneerauksen (U.S. EPA 2005).

Olemassa olevan systeemin toiminnan mallintamiseen tarvitaan paikkaansa pitävää tietoa putkien, tarkastuskaivojen, pumppujen ja viemärin muiden komponenttien koosta, sijainnista, korkeusasemasta ja kunnosta. (U.S. EPA 2005) Lisäksi verkostomalli tulee kalibroida luotettavien tulosten saamiseksi. Käytännössä se tarkoittaa mallin antamien tulosten vertaamista verkostossa tehtyihin mittauksiin ja mallin parametrien korjaamista niin, että tulokset vastaavat mitattuja havaintoja. Lisäksi voidaan kalibroida putkiverkoston virtausvastustekijät. (Karttunen 2010b) Mallinnuksessa käytettävän tiedon tulee olla sähköisesti sellaisessa muodossa, että sitä voidaan siirtää eri ohjelmien välillä (Saastamoinen 2015). Muuten tiedon hyödyntäminen on erittäin työlästä ja vaikeaa.

3.3 Verkostotietojen tallentaminen

Kerättyä verkostotietoa tulee ylläpitää tietokantaohjelmassa. Käytettävissä olevia tietokantatyyppejä on kolmenlaisia: verkosto-omaisuuden hallintaan tarkoitettut ohjelmat, yleiset tietokantaohjelmat, joita ei ole erityisesti suunniteltu tähän käyttötarkoitukseen, sekä taulukkolaskentaohjelmat. Näistä vaihtoehdoista ensimmäinen on kallein johtuen sen lisenssimaksuista. Toisaalta se on suunniteltu juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen ja palvelee todennäköisesti parhaiten vesilaitoksen tarpeita. Yleisen tietokantaohjelman hankintahinta ja sen ylläpitokustannukset voivat olla edellistä halvempia, mutta ohjelma ei välttämättä vastaa yhtä hyvin vesilaitoksen tarpeita ja sen ylläpito voi vaatia enemmän työtä ja osaamista. Taulukkolaskentaohjelman käyttömahdollisuudet ovat hyvin rajatut ja tietomäärän kasvaessa sen hallinnasta voi tulla hyvin haastavaa. (U.S. EPA 2009) Verkostotietojen havainnoiminen paranee, mikäli ne voidaan esittää paikkatietona. Se tarkoittaa fyysisten rakenteiden yksityiskohtien esittämistä sähköisessä karttapalvelussa. Paikkatieto-ohjelmat ovat tehneet myös kartoittamisesta ja karttojen päivittämisestä merkittävästi tehokkaampaa. (U.S. EPA 2005)

Luomanen et al. (2013) mukaan Suomessa verkostotiedot tallennetaan pääosin sähköiseen verkkotietokantaan, kuten Trimble NIS (Network Information System) -ohjelmaan tai CAD (Computer-aided Design) -pohjaiseen järjestelmään. Pienemmillä vesihuoltolaitoksilla verkostotieto voi vielä olla paperikartoilla tai jopa verkostomestarien henkilökoh-
taisen tiedon varassa. Tietojen siirtäminen verkkotietokantaan vähentäisi näin ollen hyl-
jäisen tiedon häviämiseen liittyviä riskejä henkilökunnan vaihtuessa. Vaikka verkostotie-
don kerääminen ja hallinta on parantunut viime vuosien aikana (Luomanen et al. 2013),
eivät vesihuoltolaitokset ole aina riittävän hyvin selvillä verkostojensa perustiedoista tai
varsinkaan niiden kunnosta (Välisalo et al. 2008).

Verkkotietokannan tulisi mahdollistaa ajankohtaisten tietojen lisäksi myös alkuperäisten ja historiatietojen tallentaminen. Esimerkiksi verkostojen uusiutumista voidaan selvittää

vertaamalla sen hetkistä putkistokantaa alkuperäiseen määrään. Lisäksi historiatietojen avulla voidaan tutkia putkien vikaantumista. Parhaimmillaan verkostotietokantaan voitaisiin yhdistää tiedot veden laadusta, asiakasvalituksista, häiriöistä, kustannuksista, investoinneista ja budjetoinneista. Tällä hetkellä tietoa kerätään paljon, mutta sitä ei pystytty vielä hyödyntämään täysin. Verkostotietojen kerääminen mahdollistaa kuitenkin monien uusien työkalujen käytön, joiden avulla voidaan ymmärtää ja parantaa verkoston toimintaa. (Välisalo et al. 2008) Siksi verkostotiedon lisäämisen tulisikin olla kaikkien kunnallisten vesihuoltolaitosten tavoitteena.

3.4 Verkostotiedon analysointi

Vesihuoltoverkoston merkityksestä yhteiskunnalle sekä investointien korkeista kustannuksista ja niiden pitkäikäisyydestä johtuen olisi tärkeää, että saneerauspäätökset perustuisivat analysoituun ja luotettavaan tietoon putken todellisesta kunnosta (U.S. EPA 2002a). Päätöstukimallit ja omaisuudenhallintajärjestelmät voisivat tukea onnistuneiden ja hyvin perusteltujen investointipäätösten tekoa (Ana & Bauwens 2007).

Omaisuudenhallintajärjestelmien ja päätöstukimallien merkitys kasvanee tulevaisuudessa. Syitä ovat muun muassa nykyisten verkoston vanheneminen, lainsäädännön vaatimusten kiristyminen, päätöksenteon läpinäkyvyyden vaatimusten kasvaminen sekä vuorovaikutuksen lisääntyminen vesihuoltolaitosten ja asiakkaiden välillä. Päätöstukimalleja kehitetään erityisesti Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, mikä johtuu verkoston laajuudesta ja korkeasta iästä näillä alueilla. (Ana & Bauwens 2007)

3.4.1 Tunnuslukujärjestelmä

Jotta järjestelmän toimintaa voidaan parantaa, tulee toiminnan laatua mitata. Sitä varten tarvitaan sopivia tunnuslukuja. Tunnuslukuja voidaan käyttää myös verkoston kunnan ja saneeraustarpeen arviointiin. Tällaisia tunnuslukuja ovat esimerkiksi viemärin sortumat ja tukokset. Olennaista on mitata tekijöitä, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin viemärin toiminnan tehokkuutta. Euroopan laajuudella ei ole käytössä standardoitua tunnuslukujärjestelmää, mutta pienemmillä alueilla on käytössä olevia tunnuslukujärjestelmiä. (U.S. EPA 2002a)

Suomessa Vesilaitosyhdistys (VVY) pitää yllä tunnuslukujärjestelmää. Järjestelmässä on kaksi tasoa, joista laajempi on maksullinen. Mukana olevat vesilaitokset syöttävät vuosittain järjestelmään perustiedot, joista järjestelmä laskee tunnusluvut. Perustiedot ovat pääosin tietoja, joita monet vesilaitokset keräävät muutenkin. VVY:n tunnuslukujärjestelmässä olevat vesihuoltolaitokset voivat verrata tunnuslukujaan keskenään eli järjestelmä perustuu benchmarkingiin. Benchmarkingin tarkoituksena on vertailla omaa toimintaa parhaaseen vastaavaan käytäntöön ja oppia toisilta, miten omaa toimintaa voisi kehittää. Lisäksi tunnuslukujärjestelmän avulla vesilaitos voi seurata omien tunnuslukujensa kehittymistä. (Vesilaitosyhdistys)

3.4.2 Päätöstukimallit

Päätöstukimallien tavoitteena on auttaa päätöksentekijöitä tunnistamaan kustannustehokkaat kunnossapito- ja saneerausstrategiat. Yksinkertaisimmillaan päätös voi perustua kahden vaihtoehdon vertailuun (U.S. EPA 2002a):

1. Putki uusitaan, jolloin maksetaan saneerauskustannukset sekä uuden putken tulevat kunnossapitokustannukset.
2. Putkea ei uusita, ainakaan välittömästi, jolloin säästetään saneerauskustannukset, mutta tulevat kunnossapitokustannukset sekä mahdollisesta vikaantumisesta johtuvat kustannukset voivat kasvaa.

Kustannusten lisäksi päätöksenteossa voidaan huomioida muita tekijöitä, kuten putken hydraulinen kapasiteetti, luotettavuus, riskit omaisuuden vahingoittumiselle ja ympäristövaikutukset. Olennaista viemäriverkoston taloudellisessa ja tehokkaassa ylläpidossa on tieto verkoston nykyisestä kunnosta sekä riittävän tarkka arvio kunnan kehityksestä tulevaisuudessa. (U.S. EPA 2002a)

Kehitettyjen päätöstukimallien laajuus ja tarkoitus vaihtelevat. Osa malleista kattaa datan keräämisen sekä viemärin kunnan ja toiminnan mallinnuksen. Niiden tarkoituksena on arvioida viemärin kunnan kehitystä ja toimintaa tulevaisuudessa, minkä avulla voidaan ajoittaa kuntotutkimukset, kunnossapitotoimenpiteet ja saneeraukset kustannustehokkaasti. Toiset mallit kattavat edellisen lisäksi päätösten vaikutusten analysoinnin. Niiden avulla voidaan esimerkiksi priorisoida saneerauskohteita sekä laskea eri saneerausvaihtoehtojen kustannuksia. Osa malleista kattaa kokonaisvaltaiseen käyttöomaisuuden hallintaan tarvittavat työkalut. (Ana & Bauwens 2007) Käyttöomaisuuden hallinnasta kerrotaan tarkemmin luvussa 3.4.3.

Luotettavien mallien rakentamiseen tarvitaan hyvälaatuista ja kattavaa dataa (U.S. EPA 2002a). Mitä monimutkaisempi malli on, sitä enemmän lähtötietoja tarvitaan. Monet kehitetyistä malleista ovat melko monimutkaisia ja voivat vaatia usean henkilön työpanoksen järjestelmän käyttöönottamiseen ja käyttöön. Kehitystyötä tarvitaan erityisesti yksinkertaisempien mallien rakentamiseksi. Tavoitteena tulisi olla malli, jota vesihuoltolaitokset pystyvät käyttämään itsenäisesti ja johon tarvittava tieto on vesihuoltolaitoksilla käytettävissä olevaa tai helposti saatavilla olevaa. Tarvittavan datan kerääminen ei saisi vaatia valtavia investointeja vesihuoltolaitoksilta. Yksinkertaisista malleista hyötyisivät erityisesti pienet vesihuoltolaitokset. Lisäksi mallien antamien tulosten tulisi olla helposti ymmärrettäviä ja tulkittavia, jotta myös päätöksentekijät, jotka eivät välttämättä ole vesihuoltotekniikan ammattilaisia, ymmärtävät saadut tulokset. (Ana & Bauwens 2007)

3.4.3 Käyttöomaisuuden hallinta

Käyttöomaisuuden hallinta on jatkuva prosessi, joka ohjaa käyttöomaisuuden hankintaa, käyttöä ja hävittämistä niin, että haluttu palvelutaso saavutetaan ja elinkaarikustannukset

minimoidaan. Tavoitteena on fyysisen käyttöomaisuuden arvon optimointi. Käyttöomaisuuteen kuuluvat kaikki pitkäikäiset hyödykkeet, jotka toimivat järjestelmän tai verkoston osana. Esimerkiksi viemäriverkostossa pääasiallisia hyödykkeitä ovat putket, tarkastuskaivot ja pumppaamot. (U.S. EPA 2002b)

Jokaisen vesihuoltolaitoksen on huolehdittava siitä, että vesihuoltojärjestelmä pysyy toimintakunnossa huolimatta verkoston iästä tai ulkopuolisen rahoituksen määrästä. Käyttöomaisuuden hallintaohjelmat tarjoavat työkaluja vesihuoltojärjestelmän toimintakunnon varmistamiseen. Tällaisia ovat pitkän aikavälin suunnittelu, elinkaarikustannusten laskenta, ennaltaehkäisevä kunnossapito sekä kustannushyötyanalyysiin perustuvat saneeraussuunnitelmat. (U.S. EPA 2002b) Olennaista käyttöomaisuuden hallinnan kannalta ovat käyttöomaisuuden kuntotiedot ja niiden hallinta (Välisalo et al. 2006).

Toimiva omaisuudenhallinta järjestelmä on osana koko organisaation toimintaa, eikä ainoastaan erillinen toiminto vesihuoltolaitoksen sisällä. Olennaisia vesihuoltolaitoksen toimintoja omaisuuden hallinnan kannalta ovat muun muassa verkostorakentaminen, ja -kunnossapito, taloushallinto ja tietohallinto. Tärkeää on, että tiedonvaihto ja yhteistyö toimivat eri osastojen välillä, mitä voidaan parantaa tietojärjestelmien avulla. (Välisalo et al. 2006)

vesijohtovesi hankitaan pohjavedenottamoilta. Kaupungin yhdyskuntajätevedet käsitellään yhdessä metsäteollisuuden jätevesien kanssa metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamolla. (Airix Ympäristö Oy 2010) Rauman vedellä on yhteensä 22 työntekijää.

4.2 Rauman viemäriverkosto

Rauman viemäriverkosto jakautuu Rauman keskustan, Kodisjoen ja Lapin verkostoon. Lapista ja Kodisjoelta jätevedet johdetaan siirtoviemäreillä Rauman keskustan verkostoon. Vuonna 2008 viemäriverkostoon oli liittynyt yhteensä 36 095 asukasta, jolloin liittymisaste oli 91 % kaupungin asukkaista. Liittymisprosentin odotetaan kasvavan 95 %:iin vuoteen 2030 mennessä. (Airix Ympäristö Oy 2010)

Rauman jätevesiviemäriverkoston pituus oli vuoden 2015 lopussa yhteensä 420 km. Hulevesiviemäri on rakennettu kattavasti kantakaupungin alueella. Kodisjoella hulevesiviemäriä ei ole, ja Lapissa vain uusimmille asemakaava-alueille on rakennettu hulevesiverkosto. Yhteensä hulevesiverkostoa on noin 163 km. Jätevesi- ja hulevesiverkostojen materiaalit on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rauman jätevesi- ja hulevesiverkostojen pituudet materiaaleittain.

Materiaali	Jätevesiverkko [km]	Hulevesiverkko [km]
Muovi	345	66
Betoni	64	93
Asbestisementti	5	-
Muut	7	4
Yhteensä	420	163

Rauman Veden hoidossa on 100 jätevesipumppaamoja ja 11 sadevesipumppaamoja. Jätevedenpumppaamoiden virtaamaa mitataan astiamittauksella. Yhdelläkään jätevesipumppaamolla ei ole tällä hetkellä toiminnassa olevaa kiinteää virtausmittaria.

Viemäriverkoston vuotojen löytämiseen Rauman Vedellä käytetään pääosin TV-kuvasta. Tavoitteena on kuvata muutamia kilometrejä verkostoa vuosittain. TV-kuvauksen lisäksi Raumalla on tehty savukokeita. Vuonna 2004 koko Rauman viemäriverkosto savutettiin, ja tavoitteena oli löytää kiinteistöt, jotka johtivat sadevetensä viemäriverkostoon. Löydetuille kiinteistöille annettiin kehoitus liittyä hulevesiviemäriin tai johtaa sadevedet muualle. Kiinteistöjen liittyminen tarkistettiin myöhemmin uusimalla savukoe. Muutamille kiinteistöille on annettu lupa johtaa sadevedet viemäriverkostoon, mikäli kiinteistön sijainnin huomioon ottaen sadevesiä ei voida johtaa hulevesiviemäriin tai avojiin.

Rauman kaupungin jätevedet käsitellään nykyään metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamolla yhdessä Eurajoen yhdyskuntajätevesien sekä Rauman metsäteollisuuden tehdasalueen jätevesien kanssa. Rauman kaupungin Maanpäänniemen jätevedenpuhdistamon puhdistustoiminta lopetettiin vuonna 2002, jolloin yhteispuhdistamon toiminta aloitettiin kokeiluna. Kokeilun jälkeen yhteispuhdistamon toimintaa jatkettiin. Nykyään Rauman ja Eurajoen yhdyskuntajätevedet kerätään ensin Maanpäänniemen puhdistamolle, missä ne esikäsitellään ja mistä ne pumpataan metsäteollisuuden puhdistamolle. Metsäteollisuuden puhdistamolla pyritään käsittelemään kaikki yhdyskuntajätevedet vuotovesineen. Metsäteollisuuden lupavastuulla yhdyskuntajätevedet ovat virtaamaan 14 000 m³/d asti. Sen ylittävältä osalta jätevedet ovat Rauman kaupungin omalla vastuulla. Yhteispuhdistamolle voidaan pumpata enintään 1 000 m³/h, ja tavoitteena on, että tarvittaessa sinne voidaan pumpata kaikki jätevedet virtaamaan 24 000 m³/d asti. (Airix Ympäristö Oy 2010)

Yhteispuhdistuksen aloittamisen jälkeen Maanpäänniemen puhdistamon ilmastus- ja jälkiselkeytysaltaat poistettiin käytöstä. Samalla kaikki kolme esiselkeytysallasta muutettiin pumppujen imualtaiksi, joista jätevesi pumpataan metsäteollisuuden puhdistamolle. Imualtaisiin johdetaan kaikki puhdistamolle tuleva jätevesi sekä sakokaivo- ja muut lietteet välppäyksen ja ilmastetun hiekanerotuksen jälkeen. Poikkeustilanteissa, kuten virtaamahuippujen aikaan, kaikkea jätevettä ei välttämättä pystytä pumppaamaan metsäteollisuuden puhdistamolle. Tällöin jätevedelle tehdään kemiallinen saostus imualtaissa, jonka jälkeen kapasiteetin ylittävä osuus johdetaan suoraan mereen. (Airix Ympäristö Oy 2010)

Vuonna 2015 Maanpäänniemen jätevedenpuhdistamolle pumpattiin keskimäärin 12 862 m³/d. Laskutetun talousveden määrä oli Rauman Veden toiminta-alueella 5 969 m³/d. Lisäksi laskutettuja jätevesiä oli yhteensä 1 856 m³/d, mikä sisältää Eurajoen kunnasta johdettuja jätevesiä, kahden kaatopaikan suotovesiä sekä vesilaitoksen huuhteluvesiä. Vähentämällä jätevedenpuhdistamolle johdetusta vesimäärästä laskutetut talous- ja jätevedet, saadaan laskuttamattoman jäteveden määräksi 5 037 m³/d. Se on noin 39 % Maanpäänniemeen johdetusta jätevedestä.

Vuonna 2015 Maanpäänniemestä pumpattiin 77 587 m³ kemiallisesti puhdistettua vettä suoraan mereen. Se on noin 1,7 % Maanpäänniemeen vuoden aikana johdetusta vedestä. Ohituspäiviä oli yhteensä 28 kappaletta. Vuonna 2007 metsäteollisuuden puhdistamolla käsiteltiin keskimäärin 92 800 m³/d jätevettä, josta metsäteollisuuden osuus oli 81 400 m³/d ja yhdyskuntajätevesien osuus 11 400 m³/d (Airix Ympäristö Oy 2010). Tällöin yhdyskuntajätevesien osuus puhdistetusta jätevedestä oli noin 12 %.

4.3 Verkostotietojen tallentaminen Rauman Vedellä

Rauman kaupunki tallentaa verkostotiedot Trimble Locus -ohjelmaan, johon tallennetaan muukin kaupungin alueelta kerätty paikkatieto. Vesihuoltoverkostoista sinne tallennetaan tiedot putkien ja kaivojen sijainnista ja materiaalista sekä putken halkaisijasta. Rakennusvuosia ei ole tallennettu samaan järjestelmään, vaan ne on kerätty erilliseen tiedostoon.

Paineviemärit ja vesijohdot kartoitetaan maanpinnalta, jolloin niiden korkeustietoa ei tallenneta. Tonttiviemärit kartoitetaan yleensä siihen asti, mihin vesilaitoksen vastuu loppuu. Asemakaava-alueilla kartoitus tehdään tonttikaivoon tai tontin rajaan saakka. Haja-asutusalueilla kartoituksen raja ei ole yhtä selkeästi määritetty. (Lähdemäki 2016)

Verkoston sijaintitietojen tulisi olla digitoituna vuoden 2016 loppuun mennessä (L 681/2014). Raumalla sijaintitietoja ei kuitenkaan saada sähköiseen muotoon määräaikaan mennessä. Kantakaupungin alueella rasterikartan kattavuus on hyvä ja sitä digitoidaan mahdollisuuksien mukaan. Toisaalta kaikkia verkoston osia ei ole kartoitettu eikä niitä ole näin ollen merkitty verkostokarttaan. Osa verkostotiedosta on myös suunnitelmätietoa, jolloin rakenteen lopullisesta sijainnista ei ole varmaa tietoa. Ongelmana on, ettei verkostokartoista selviä, mikä osa on kartoitettua ja mikä on suunnitelmätietoa. (Lähdemäki 2016)

Raumalla kartoittaminen tapahtuu pääosin takymetrillä. Toimistossa mittausdata käsitellään 3D-Win -ohjelmalla, jolla mittausdatan käsittely on yksinkertaista ja nopeaa. Lisäksi ohjelma näyttää vain äskettäin mitatut tiedot, jolloin ei ole mahdollista muokata vahingossa aiemmin tallennettua tietoa. 3D-Win -ohjelmasta tiedot siirretään Trimble Locukseen, missä vastaanotettu data yhdistetään aiemmin tallennettuun tietoon. Locus on kaupungin mittausosaston käytettävissä ja siihen tallennetaan kaikki mittausosaston kartoittama tieto, kuten taustakarttoja, ilmakuvia, laserkeilausaineistoa sekä kiinteistö- ja kaavatietoa. Locuksesta tiedot peilataan Trimble Webmap -ohjelmaan, joka on tarkoitettu paikkatiedon katseluun ja selailuun. Kaupungin työntekijöille voidaan myöntää eritasoisia oikeuksia tiedon selaamiseen Webmapissa. (Lähdemäki 2016)

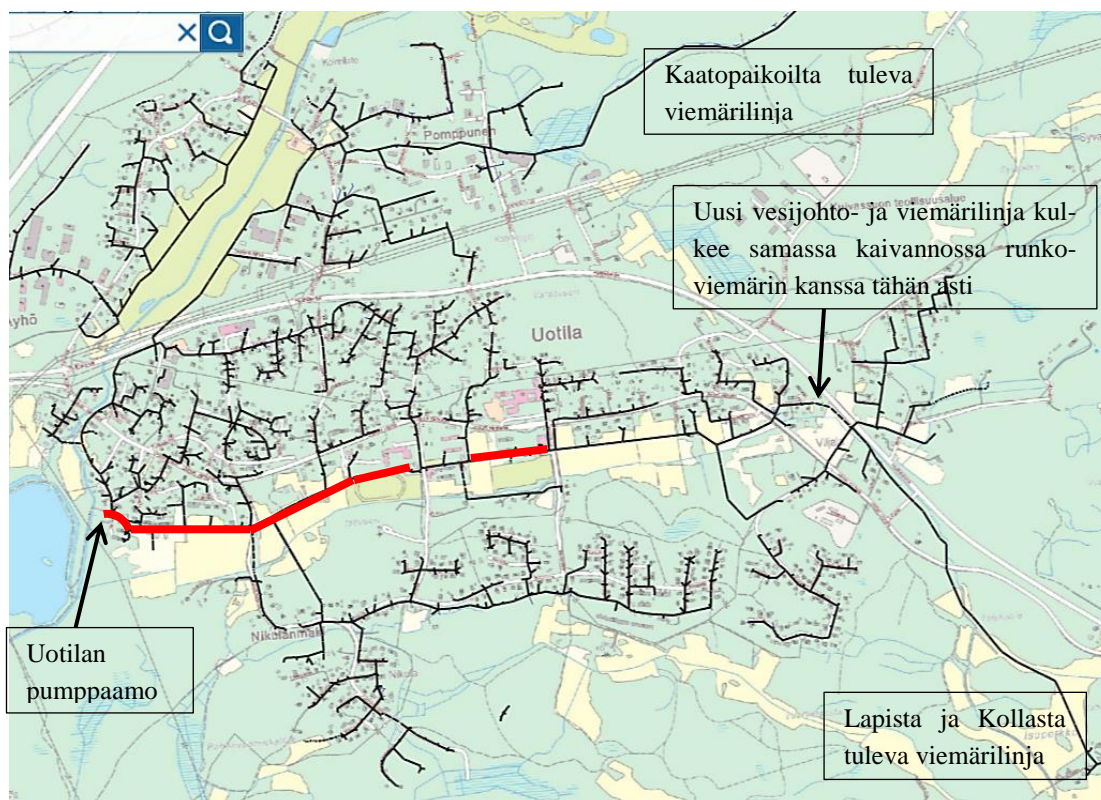
Nykyisen järjestelmän suurin etu on se, että se on kartoittajan kannalta helppo käyttää. Ohjelmilla ei kuitenkaan saada tulostettua kunnollisia DWG-formaatissa olevia kuvia, joita suunnitteluohjelmat pystyisivät hyödyntämään, eikä PDF-tulosteiden kuvaustekniikkaa pystytä itse muokkaamaan. Erilaisille mittausavoille ei ole Webmapissa erilaisia kuvaustekniikoita. Näin ollen kartta-aineistosta ei suoraan näe, onko tallennettu tieto saatu esimerkiksi kartoittamalla tai ilmakuvista, mikä vaikuttaa tiedon luotettavuuteen. (Lähdemäki 2016)

Joulukuussa 2012 kaupunki otti käyttöön Trimble NIS -ohjelman, jota käytettiin kevät 2013. Kartoittajat kokivat uuden ohjelman käytön hitaaksi ja vaikeaksi, minkä takia siirryttiin takaisin vanhaan järjestelmään. Ongelmana oli, ettei mitattua dataa voinut siirtää sellaisenaan 3D-Win -ohjelmasta NIS-ohjelmaan, vaan data vaati paljon ylimääräistä muokkausta NIS-ohjelmassa. Siksi tiedon tallentaminen oli hidasta. Lisäksi vanhasta järjestelmästä uuteen järjestelmään siirretyt tiedot olisi pitänyt käydä manuaalisesti läpi, sillä kaikki haluttu tieto ei siirtynyt suoraan järjestelmien välillä. (Lähdemäki 2016)

Kartoittajat näkivät NIS-ohjelmassa kuitenkin paljon potentiaalia, sillä se on rakennettu vesihuoltoon ajatellen. Suurimmat edut liittyvät ohjelman laajoihin ja monipuolisiin analyysintyökaluihin. Ohjelman avulla voidaan esimerkiksi suunnitella ja hallita verkoston kunnossapitoa ja tarvittavia investointeja. Lisäksi siinä on erilaiset kuvaustavat eri mitaustavoille, jolloin nähdään nopeasti, onko joku tieto saatu kartoittamalla tai esimerkiksi ilmakuvista. Samalla voidaan arvioida tiedon luotettavuutta. Analyysintyökalujen tehokas käyttö vaatii kuitenkin verkostotietojen riittävää kattavuutta. Ohjelmaa kokeillessa huomattiin, että osa ohjelman laskemista tuloksista vääristyi, sillä vain osa verkostotiedoista oli digitoituna. Lisäksi ohjelma käsitti tonttijohdot linjajohdoiksi, mikä myös aiheutti virheitä laskuihin. (Lähdemäki 2016)

4.4 Tutkimusalue

Virtausmittausten tutkimusalueeksi valittiin Uotilan kaupunginosa, josta uskottiin tulevan merkittäviä vuotovesimääriä erityisesti rankkojen tai pitkien sadejaksojen aikana. Vuotovedet aiheuttavat ajoittain kapasiteettiongelmia erityisesti Uotilan pumppaamolla, joka pumppaa jätevedet pois Uotilan alueelta. Lisäksi suurten virtaamien aikana osa jätevedestä päätyy ennen pumppaamoa ylivuotona ympäristöön. Uotilan viemäriverkoston rakenne esitetään kartalla kuvassa 5.



Kuva 5. Uotilan viemäriverkosto. Punaiset osuudet runkoviemäristä saneerataan uuden vesi- ja viemäriputkan rakentamisen yhteydessä. Uusi putka kulkee runkoviemäriin kanssa samassa kaivannossa Uotilan pumppaamolta kartassa merkittyyn pisteeseen asti.

Uotilan viemäriverkoston kautta kulkevat myös Lapin ja Kollan kaupunginosien jätevedet, jotka rajattiin pois tästä tutkimuksesta. Lisäksi kahden kaatopaikan suotovedet pumpataan Uotilan viemäriverkostoon. Alueelle ollaan rakentamassa uusi vesijohto- ja viemäri linja, joka tulee kulkemaan samassa kaivannossa Uotilan runkoviemärin kanssa Uotilan pumppaamolta karttaan merkittyyn pisteeseen saakka. Siitä tuleva vesi- ja viemäri linja jatkaa kohti pohjoista. Samalla kun putkijohtokaivanto kaivetaan auki, myös osa runkoviemäristä saneerataan. Saneerattavat osuudet on merkattu karttaan punaisella. Tulevan viemäri linjan jätevedet eivät kulje Uotilan pumppaamon kautta, joten ne eivät aiheuta lisäkuormitusta pumppaamolle.

4.5 Käytetyt tutkimusmenetelmät

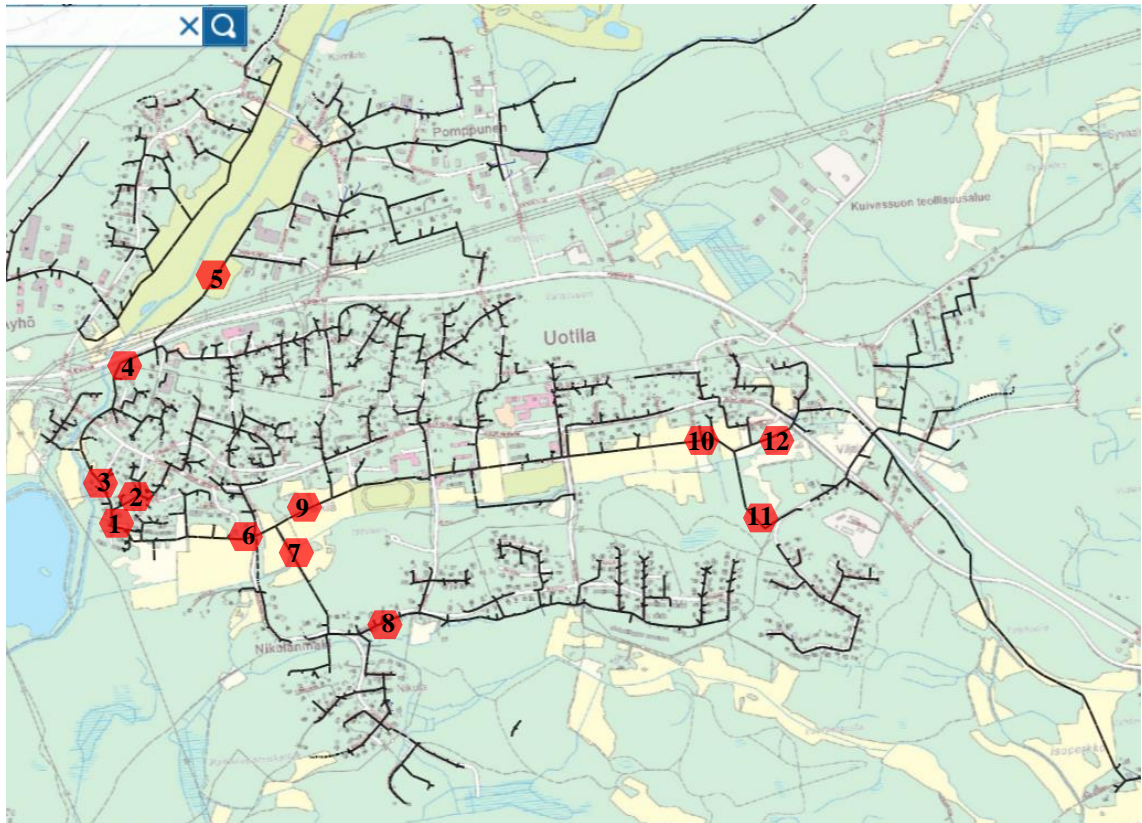
Vuotovesimäärää arvioitiin koko Rauman alueelta vertaamalla päivittäisiä verkostoon pumpatun talousveden ja jäteveden puhdistamolle johdetun jäteveden määriä vuodelta 2015. Uotilan alueelta samanlaista vertailua ei voitu tehdä edes lyhemmältä ajanjaksolta, sillä Uotilan pumppaamolla ei ole virtausmittaria, joka antaisi luotettavaa tietoa jäteveden virtaamasta. Myöskään todellisia Uotilan alueelle pumpattuja talousvesimääriä ei ole mahdollista selvittää nykyisillä laitteistoilla.

Uotilan viemäriverkoston vuotovesilähteitä selvitettiin siirrettävillä virtausmittareilla, joiden avulla pyrittiin rajaamaan tutkimusalueen vuotavimmat osat. Lisäksi osa alueesta savutettiin. Savukokeilla haettiin erityisesti suoria huleveden lähteitä viemäriin. Tässä luvussa esitellään tarkemmin työssä käytetyt tutkimusmenetelmät.

4.5.1 Virtausmittaukset

Virtausmittaukset tehtiin kahdella siirrettävällä Labkotec PCM 4 -virtausmittarilla. Mittari tallensi virtaaman kymmenen minuutin välein ja tallensi tulokset muistikortille. Saa-duista tuloksista piirrettiin hydrografi, joissa esitettiin lisäksi vuorokauden sademäärä sekä lumensyvyys. Käytetyt mittauspisteet on esitetty kartalla kuvassa 6.

Mittausajalta laskettiin arvio vuotoveden määrästä viemärissä vähentämällä jätevesivirtaamasta mittausalueen talousveden keskimääräinen kulutus. Lisäksi vuotovesimäärä suhteutettiin alueen verkoston pituuteen. Mittausalueilla käytetyn talousveden määrä arvioitiin kulutuspisteiden vuosikulutusarvioiden perusteella. Mittausalueelle kuuluvat kulutuspisteet rajattiin manuaalisesti postinumeron ja -toimipaikan sekä osoitteen perusteella listasta, joka sisälsi kaikki Rauman kulutuspisteet. Mittausalueiden verkostopituudet laskettiin käsin Webmap-ohjelman etäisyyden mittaus -työkalulla. Mittausalueiden verkostopituudet ja vuosikulutusarviot on esitetty taulukossa 3.



Kuva 6. Mittauspisteet kartalla.

Taulukko 3. Mittausalueiden verkostopituudet ja vuosikulutusarviot.

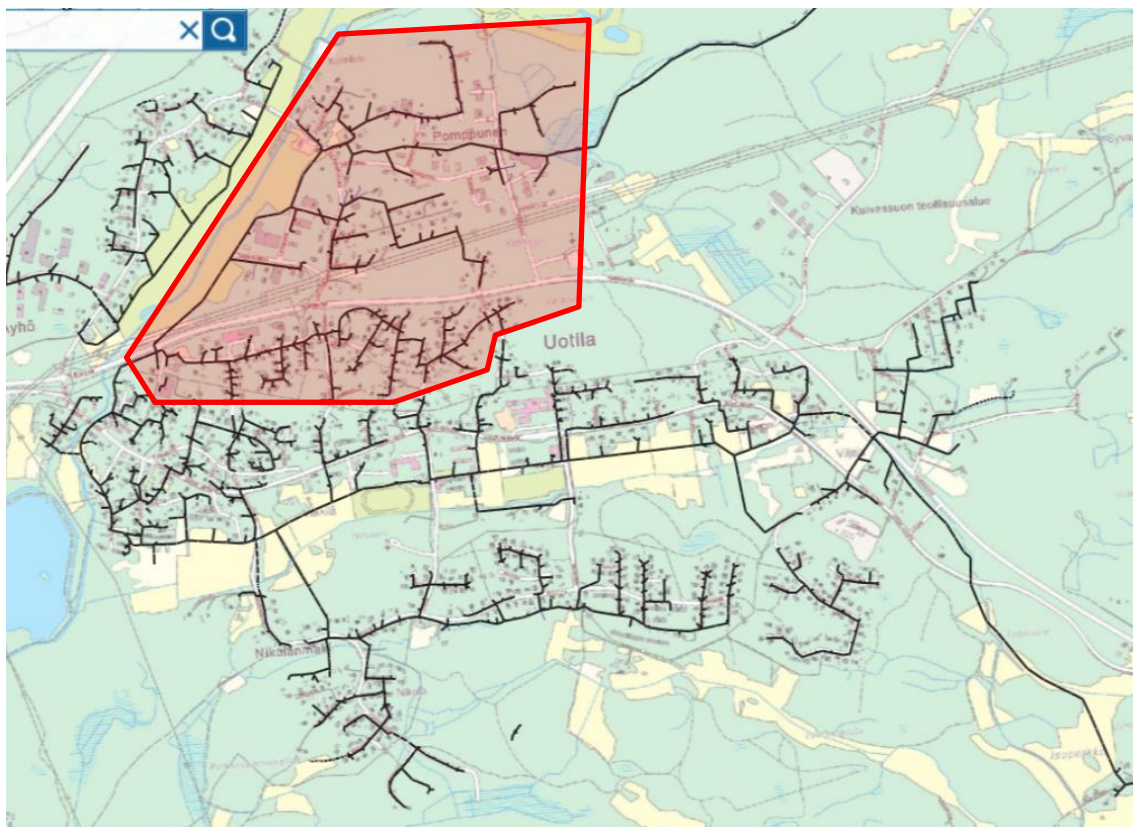
Mittaus- pisteet	Mittausalue	Verkosto- pituus [km]	Vuosikulu- tusarvio [m ³]	Talousveden kulutus keski- määrin [l/s]
1–12	Uotilan pumpptaamo – Hankkaankuja (Koko Uotila)	31,31	91 833	2,91
2	Sarkontie	1,55	5 314	0,17
3–4	Järventie – Tuomistontie	1,42	5 182	0,16
4–5	Tuomistontie – Golfkenttä	3,66	11 155	0,35
5	Golfkenttä	9,29	14 525	0,46
1–6	Uotilan pumpptaamo – Akselintie	1,46	4 473	0,14
7–8	Kantanikulantie – Nikulantie	2,40	6 437	0,20
8	Nikulantie	3,37	15 152	0,48
9–10	Kentäntie – Arohuhdantie	4,60	20 066	0,64
11	Laaksotie	1,49	6 817	0,22

Koska käytössä oli vain kaksi virtausmittaria, kaikkia osa-alueita ei voitu tutkia samanaikaisesti. Se aiheuttaa virhettä tuloksiin, sillä vuotovesimäärät vaihtelevat riippuen monesta tekijästä, kuten pohjaveden korkeudesta, sademääristä ja lumen sulannasta. Mitään edellä mainittuja ympäristötekijöitä ei mitata Raumalla. Lähin Suomen Ympäristökeskuksella pohjavedenkorkeuden mittauspiste sijaitsee Porin Kuuminaisissa, noin 40 km Rauman keskustasta pohjoiseen. Sade- ja lumensyvyystietoja haettiin Ilmatieteenlaitoksen Avoin data -palvelusta. Koska Raumalla ei näitä suureita mitata, laskettiin sademäärästä ja lumen syvyydestä keskiarvo lähikuntien Porin, Laitilan ja Uudenkaupungin mitaustuloksista. Lisäksi mitattuja virtaamia verrattiin jätevedenpuhdistamolle tulleeseen virtaamaan.

Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot kirjataan maailman standardiajassa eli UTC-ajassa (Universal Time, Coordinated). Vuorokauden sademäärä havainnoidaan aikaväliltä 06-06 UTC. Suomen aika on kesällä kolme tuntia ja talvella kaksi tuntia UTC-aikaa edellä. (Ilmatieteenlaitos) Tämä on hyvä huomioida myös hydrografeja lukiessa.

4.5.2 Savukokeet

Osalla tutkimusalueesta tehtiin savukokeita, joiden tavoitteena on paljastaa suoria huleveden reittejä viemäriin. Savukokeet suoritettiin noin kuukauden ajanjaksolla touko- ja kesäkuussa. Savutukseen valittu alue esitetään kartalla kuvassa 7.



Kuva 7. Savutettu verkostoalue.

Savu tuotettiin savupatruunoilla tarkastuskaivoissa ja pakotettiin liikkumaan viemärissä tarkastuskaivon päälle asetetun puhaltimen avulla. Tarvittaessa jokin putki voitiin tulpata, jottei savu leviäisi väärään suuntaan. Savu purkautui viemärin avoimista päistä, kuten kiinteistöjen tuuletusputkista ja tarkastuskaivoista. Savukokeiden aikana tehdyt havainnot, kuten savun purkautuminen rännikaivosta, valokuvattiin ja niistä kirjattiin ylös vika ja sen sijainti.

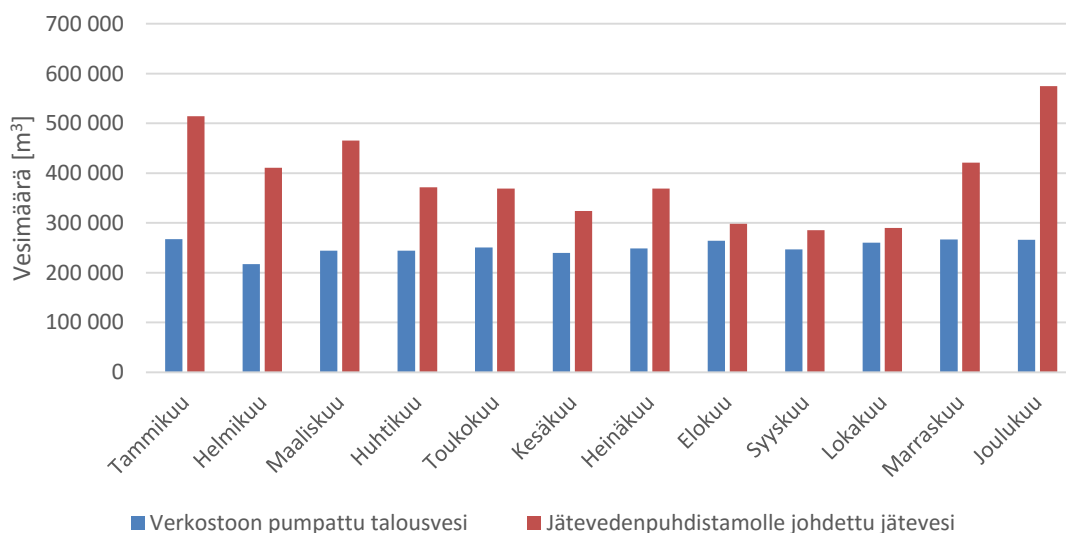
5. TULOKSET

Tässä luvussa esitetään työn tulokset. Ensin tarkastellaan viemärien vuotovesitilannetta koko Rauman alueella vuonna 2015. Tämän jälkeen esitetään virtausmittausten tulokset, jotka on jaettu alalukuihin mittausalueittain. Mitatut virtaamat esitetään hydrografeina, joihin on lisätty päivittäiset sademäärät ja lumensyvyys. Lopuksi esitetään savukokeiden tulokset eli millaisia havaintoja viemäriverkostosta tehtiin savutusten aikana.

5.1 Vuotovedet Rauman viemäriverkostossa

Viemäriverkoston vuotoveden määrää arvioitiin vertaamalla Rauman kaupungin talousveden kulutusta ja puhdistamolle johdetun jäteveden määrää. Vuonna 2015 laskuttamattoman jäteveden määrä Rauman Vedellä oli 5 037 m³/d, mikä oli noin 39 % jätevedenpuhdistamolle pumpatun veden määrästä. Jakamalla laskuttamattoman veden määrä viemäriverkoston pituudella saadaan verkon vuotavuodelle arvioksi 0,14 l/(s*km).

Kuvassa 8 esitetään kuukausittaiset vesijohtoverkostoon pumpatut talousvesimäärät ja jätevedenpuhdistamolle johdetut jätevesimäärät vuodelta 2015. Talousvesimäärä sisältää Äyhönjärven vesilaitokselta lähtevän kokonaisvesimäärän huuhteluvesineen sekä Lapin pohjavedenottamolta verkostoon pumpatun vesimäärän.

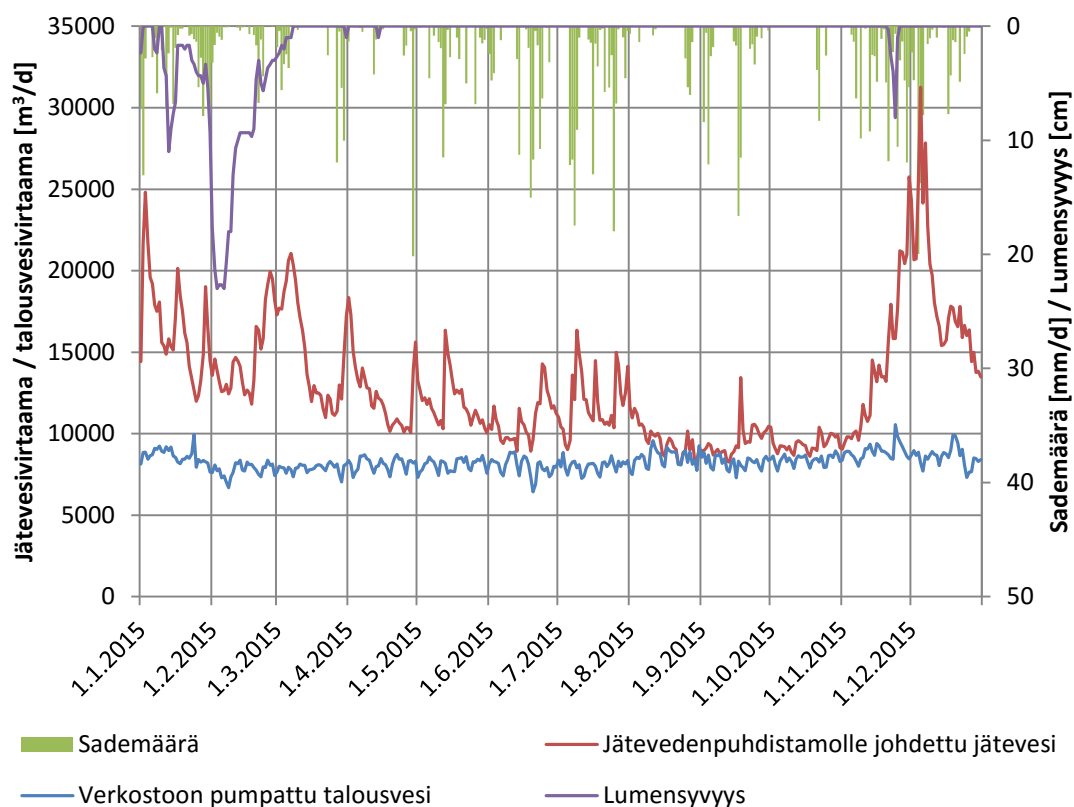


Kuva 8. Kuukausittaiset verkostoon pumpatun talousveden ja jätevedenpuhdistamolle johdetun jäteveden määrät Raumalla vuonna 2015.

Vertaamalla kuukausittaisia vesimääriä keskenään nähdään, että vuonna 2015 vuotoveden määrät olivat suurimmillaan joulu-, tammi- ja maaliskuussa. Myös jätevedenpuhdistamon ohitukset tapahtuivat pääosin näinä kuukausina. Niiden lisäksi vain marraskuussa

jätevettä johdettiin pelkästään kemiallisesti käsiteltynä mereen. Vuoden aikana ohituspäiviä oli yhteensä 28 kappaletta, joiden aikana suoraan mereen johdettiin 77 587 m³ jätevettä. Se oli noin 1,7 % vuoden 2015 aikana jätevedenpuhdistamolle tulleesta jätevedestä. Pienimmillään vuotovesimäärät olivat elo-, syys- ja lokakuussa.

Kuvassa 9 esitetään päivittäiset talousvesi- ja jätevesivirtaamat sekä päivittäiset sademäärät ja lumensyvyys vuodelta 2015. Kuvasta nähdään, että talousveden kulutus Raumalla oli melko tasaista läpi vuoden. Sen sijaan jäteveden päivittäinen virtaama vaihteli alle 10 000 m³:sta yli 30 000 m³:iin. Jätevesivirtaaman vaihteluita selittävät säätapahtumat. Kuivimpaan aikaan elokuusta lokakuuhun talousveden ja jäteveden virtaamat olivat hyvin lähellä toisiaan. Helmi- ja maaliskuun suuret virtaamat johtuivat todennäköisesti lumen sulamisesta, ja marras- ja joulukuun virtaamat kasvoivat pitkän sateisen jakson seurauksena. Myös kesällä kovat sateet aiheuttivat selvästi havaittavia virtaamahuippuja hydrografiin.



Kuva 9. Päivittäiset verkostoon pumpatun talousveden ja jätevedenpuhdistamolle johdetun jäteveden virtaamat sekä sademäärät ja lumensyvyys Raumalla vuonna 2015.

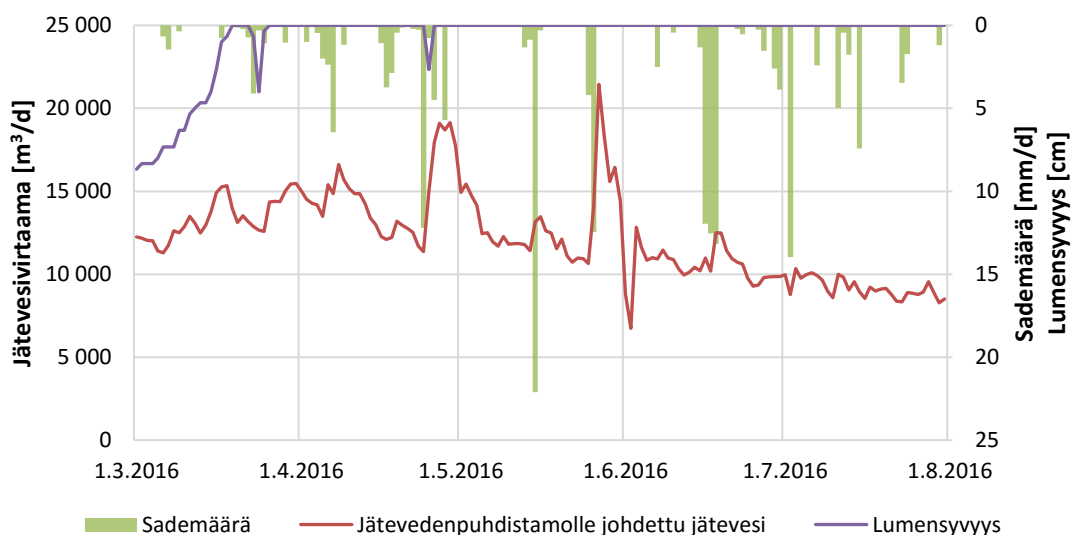
Vertailussa ei huomioida kaikkia virtaamaan vaikuttavia tekijöitä. Vesijohtoverkosto vuotaa, eikä kaikki talousvesi päädy jätevedenpuhdistamolle. Vuonna 2015 laskuttamattoman talousveden osuus Rauman Vedellä oli noin 20 % verkostoon pumpatusta vesimäärästä. Lisäksi viemärit voivat vuotaa myös ulospäin, jolloin kaikki verkostossa oleva jätevesi ei päädy puhdistamolle. Nämä tekijät kasvattavat todellista vuotovesimäärää.

Toisaalta jätevesivirtaama sisältää verkostoon pumpatun talousveden lisäksi Eurajoen jätevesiä sekä kaatopaikkojen suotovesiä, jotka johdetaan luvallisesti jätevedenpuhdistamolle eivätkä ne näin ollen ole vuotovesiä. Nämä tekijät pienentävät todellista vuotovesimäärää. Vaikka edellä mainitut tekijät aiheuttavat pientä epätarkkuutta arvioituun vuotovesimäärään, vertailulla saadaan kuitenkin hyvä yleiskuva vuotovesitilanteesta Rauman Vedellä.

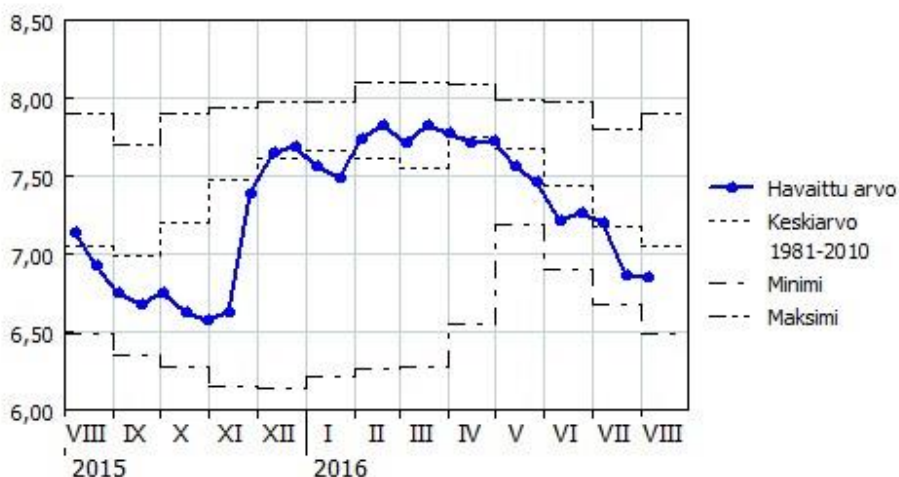
5.2 Vuotovesimäärien mittaaminen virtausmittauksilla

Vuotovesimäärää arvioitiin mittaamalla virtaamia jätevesiviemärissä ja vähentämällä siitä kyseisen mittausalueen keskimääräinen talousveden kulutus. Lisäksi vuotovesimäärä jaettiin mittausalueen verkostopituudella, jolloin vuotoveden määrä saatiin yksikössä l/s verkostokilometriä kohti. Tällöin saatiin alueen vuotavuudelle vertailukelpoinen arvo muihin mittauspisteisiin verrattaessa.

Kuten luvussa 2.5.1 esitettiin, jätevesiviemärissä kulkevan vuotoveden määrään vaikuttavat erityisesti sademäärät ja pohjaveden pinnankorkeus. Lähikuntien Porin, Laitilan ja Uudenkaupungin päivittäisistä sademääristä ja lumensyvyyksistä laskettiin keskiarvot (kuva 10), sillä Raumalla ei mitata näitä ympäristötekijöitä. Pohjaveden pinnankorkeustiedot on esitetty maantieteellisesti lähimmältä mittausasemalta Porin Kuuminaisista (kuva 11). Pohjavesi pysyi korkealla maaliskuusta huhtikuulle, minkä jälkeen pohjaveden pinta alkoi laskea. Lisäksi mitattuja virtaamia verrattiin päivittäisiin jätevedenpuhdistamolle johdettuihin virtaamiin (kuva 10).



Kuva 10. Päivittäinen jätevedenpuhdistamolle johdettu jätevesivirtaama sekä keskiarvot Porin, Laitilan ja Uudenkaupungin sademääristä ja lumensyvyydestä 1.3.–31.7.2016.



Kuva 11. Pohjaveden pinnankorkeus Porin Kuuminaisissa (Suomen Ympäristökeskus 2016).

Tutkittavalla alueella jätevesivirtaamaan vaikuttivat säätilan ja pohjaveden pinnankorkeuden lisäksi kahdelta kaatopaikalta pumpatut suotovedet. Tiedot pumppauksen aloittamisesta ja lopettamisesta sekä virtausmittarin lukema näinä ajanhetkinä saatiin kaatopaikkojen työntekijöiltä (taulukko 4).

Taulukko 4. Kaatopaikkojen suotovesien pumppaukset.

Pumppauksen aloitus		Pumppauksen lopetus		Keskimääräinen virtaama [l/s]
17.3.	15:00	18.3.	10:30	4,0
5.4.	13:45	7.4.	14:30	4,2
11.4.	8:00	14.4.	15:15	2,8
11.5.	aamupäivä	13.5.	iltapäivä	4,4
13.5.	15:00	16.5.	7:00	4,4
27.5.	aamupäivä	30.5.	17:45	4,0
13.6.	aamupäivä	16.6.	15:00	3,5
5.7.	13:00	6.7.	15:15	5,5
18.7.	12:00	19.7.	14:00	4,5
19.7.	16:00	21.7.	13:00	5,0

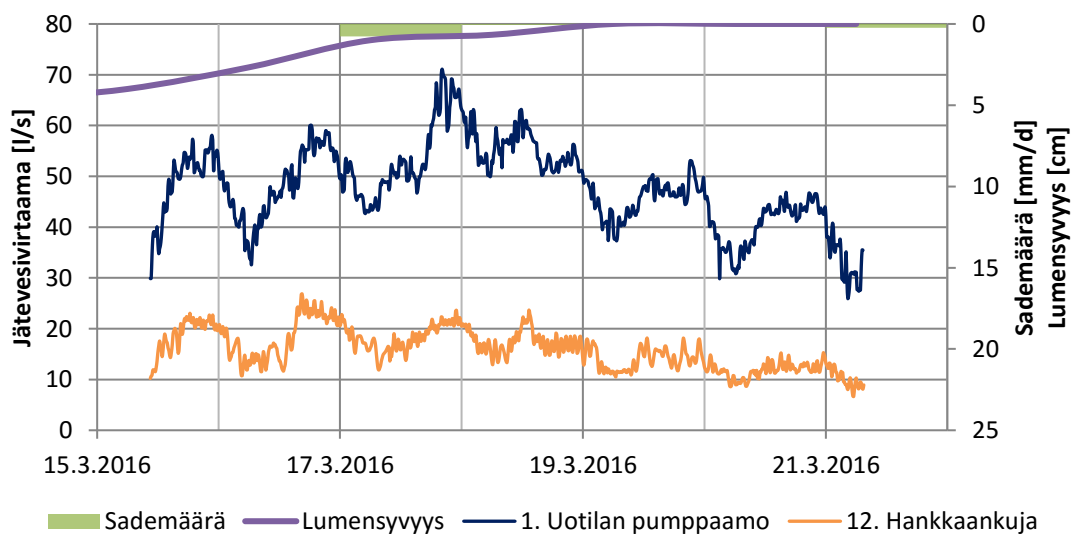
5.2.1 Uotilan kaupunginosa

Koko tutkimusalueen vuotovesivirtaamaa arvioitiin mittaamalla virtaamaa Uotilan pumpaamolla ja Hankkaankujan mittauspisteellä. Hankkaankujan mittauspisteeseen tulevat

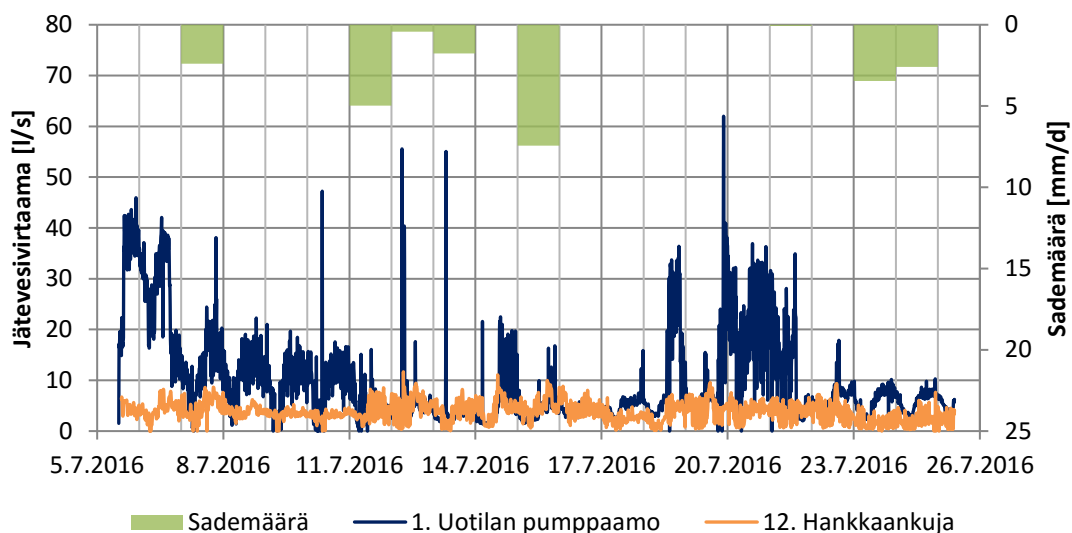
Lapin ja Kollan kaupunginosien jätevedet, jotka rajattiin pois tutkimusalueesta. Vähentämällä Uotilan pumpppaamolle tulleesta jätevesivirtaamasta Hankkaankujalle tullut virtaama, voidaan arvioida Uotilan kaupunginosan vuotovesimäärää. Koko Uotilan alueen jätevesivirtaamaa mitattiin kahdella mittausjaksolla 15.3.–21.3. sekä 5.7.–25.7.

Maaliskuussa virtaamat olivat suuria sekä Uotilan pumpppaamolla että Hankkaankujalla (kuva 12). Virtaamat vaihtelivat Uotilan pumpppaamolla 30–70 l/s ja Hankkaankujalla 10–25 l/s. Mittausjakson aikana lumet sulivat kokonaan pois, mikä saattoi kasvattaa verkostossa liikkuvia virtaamia. Maanpäänniemen jätevedenpuhdistamolla virtaamat kasvoivat hieman edellisiin päiviin nähden (kuva 10). Pohjavedenpinta oli kuitenkin maaliskuussa korkealla (kuva 11), mikä lisäsi varsinaisen vuotoveden suotautumista maaperästä jätevesiviemäriin. Lisäksi kaatopaikkojen suotovesiä pumpattiin 17.3.–18.3. välisenä aikana noin 4 l/s, mikä näkyy pienenä virtaaman kasvuna hydrografissa.

Heinäkuussa virtaamat olivat pienempiä sekä Uotilan pumpppaamolla että Hankkaankujalla maaliskuun virtaamiin verrattuna (kuva 13). Uotilan pumpppaamolla virtaamat olivat pääosin alle 20 l/s ja Hankkaankujalla alle 10 l/s. Kaatopaikoilta pumpattiin suotovesiä 5.–6.7. ja 18.–21.7. (taulukko 4), mikä selittää edellä mainittua suuremmat virtaamat Uotilan pumpppaamolla mittausjakson aikana. Virtaamaeroja maaliskuun ja heinäkuun mittausjaksojen välillä selittää pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut. Heinäkuussa pohjavedenpinta oli matalammalla kuin maaliskuussa, joten verkostoon suotautui vähemmän pohjavettä. Tämä näkyy myös jätevedenpuhdistamon päivittäisissä virtaamissa (kuva 10), jotka olivat heinäkuussa pääosin alle 10 000 m³/d. Maaliskuussa jätevedenpuhdistamon päivittäinen virtaama vaihteli 11 000–15 500 m³/d välillä. Raumalla satoi heinäkuun mittausjakson aikana vähemmän kuin lähikunnissa, mikä nähdään myös jätevedenpuhdistamolle tulleesta virtaamasta (kuva 10), joka pysyi melko tasaisena koko heinäkuun ajan.



Kuva 12. Virtaamat Uotilan pumpppaamolla ja Hankkaankujan mittauspisteellä 15.3.–21.3.



Kuva 13. Virtaamat Uotilan pumpppaamolla ja Hankkaankujan mittauspisteellä 5.7.–25.7.

Mittausajalta laskettiin arvio vuotoveden määrästä kyseisellä verkoston osalla. Uotilan kaupunginosasta lasketut vuotovesimäärät esitetään taulukossa 5. Uotilan pumpppaamolle tulleen virtaaman keskiarvosta vähennettiin Hankkaankujalle tulleen virtaaman keskiarvo, jolloin saatiin mittausalueelta verkostoon tulevan jäteveden määrä mitatulla ajanjaksolla. Tuloksesta vähennettiin kaatopaikoilta tulleiden suotovesien osuus. Tämä luku esitetään *Mitattu virtaama keskimäärin* -sarakekeessa. Esimerkiksi maaliskuussa Uotilan kaupunginosan alueelta tuli 31,3 l/s jätevettä. Tästä luvusta vähennettiin kyseisen alueen keskimääräinen talousveden kulutus (taulukko 3), jolloin saatiin arvio vuotoveden määrästä mittausalueen verkostossa. Näin ollen maaliskuussa Uotilan kaupunginosasta tuli vuotovettä keskimäärin 28,4 l/s. Tämä luku jaettiin mittausalueen verkostopituudella (taulukko 3), jolloin saatiin arvio vuotoveden määrästä verkostokilometriä kohden. Maaliskuussa Uotilan viemäriverkostoon pääsi vuotovettä arviolta 0,91 l/(s*km). Jätevedenpuhdistamolle tullut virtaama on keskiarvo mittausajan päivittäisistä jätevesivirtaamista, ja se antaa viitettä siitä, paljonko vuotovettä on tullut koko Rauman alueelta kyseisen mittausjakson aikana.

Taulukko 5. Vuotovesimäärät koko Uotilan alueella mittausjaksojen aikana.

Mittaus-jakso	Mittausalue	Mitattu virtaama keskimäärin [l/s]	Vuotovesi [l/s]	Vuotovesi [l/(s*km)]	Jätevedenpuhdistamolle tullut virtaama [m ³ /d]
15.–21.3.	Koko Uotila	31,30	28,4	0,91	14 266
5.–25.7.	Koko Uotila	4,84	1,9	0,06	9 184

Uotilan kaupunginosan viemäriverkostoon suotautuu paljon varsinaista vuotovettä pohjavedenpinnan ollessa korkealla. Maaliskuun mittausjakson aikana verkostoon pääsi vuotovettä arviolta 28,4 l/s, mikä oli noin 91 % alueelta tulleesta jätevesivirtaamasta. Kuivaan aikaan vuotoveden määrä oli arviolta 1,9 l/s, mikä oli noin 39 % alueelta tulleesta jätevesivirtaamasta. Verkostopituuteen suhteutettuna heinäkuun vuotovesimäärä oli kuitenkin melko pieni ja vuotovettä tuli arviolta 0,61 l/(s*km). Sateiden vaikutusta verkostoon ei saatu luotettavasti mitattua mittausjakson aikana johtuen pienistä sademääristä.

5.2.2 Uotilan verkoston pohjoisosa

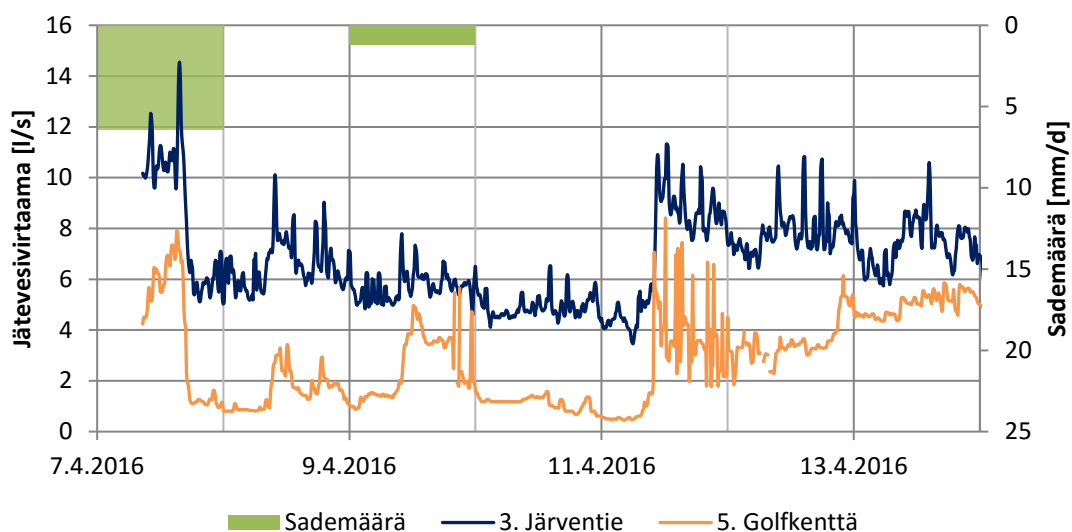
Tutkimusalueen pohjoisosassa oli kolme mittauspistettä, joita olivat Järventie, Tuomistontie ja Golfkenttä. Näiden mittauspisteiden läpi kulkevat kaatopaikkojen suotovedet. Koska käytössä oli vain kaksi virtausmittaria, kaikkien kolmen mittauspisteen virtaamia ei voitu mitata samanaikaisesti. Siksi mittauksia tehtiin useampana ajanjaksona.

Golfkentälle tulleet virtaamat olivat pieniä molemmilla mittausjaksoilla (kuvat 14 ja 15), kun huomioidaan kaatopaikkojen suotovesien pumppaukset. Kaatopaikkojen suotovesiä pumpattiin 5.–7.4., 11.–14.4. sekä 27.–30.5. (taulukko 4), mikä näkyy virtaaman kasvuna hydrografeissa. Muulloin Golfkentän virtaamat olivat pääosin alle 4 l/s, vaikka erityisesti huhtikuussa pohjavedenpinta oli suhteellisen korkealla (kuva 11). Näin ollen pohjaveden suotautuminen verkostoon vaikuttaa vähäiseltä. Sateet kasvattivat virtaamaa hieman toukokuun mittausjaksolla, mutta eivät aiheuttaneet merkittäviä virtaamahuippuja.

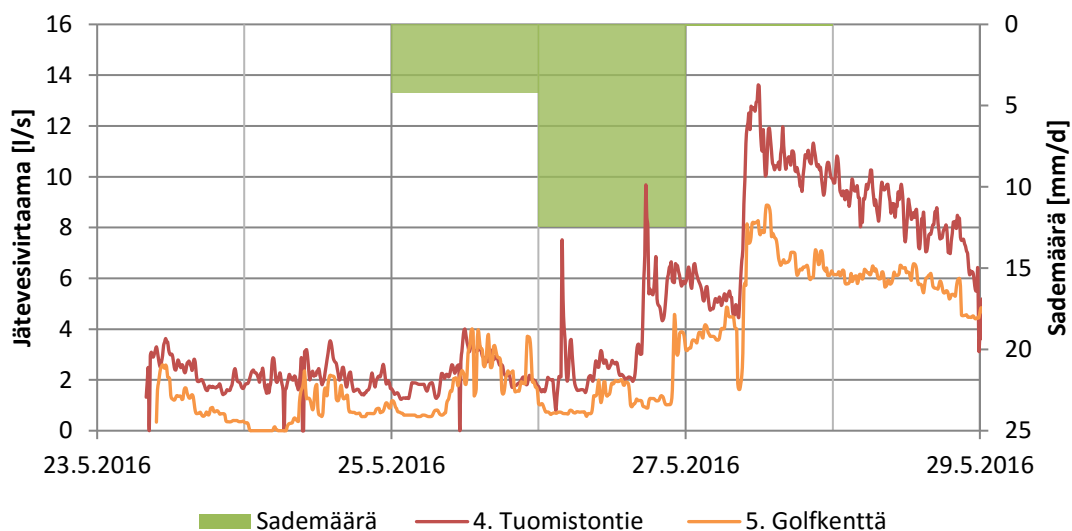
Tuomistontielle tehtyjen mittauksen aikana kaatopaikkojen suotovesiä pumpattiin 27.–30.5. ja 15.–16.6., mikä näkyy hydrografeissa (kuvat 15 ja 16) virtaaman kasvuna. Lisäksi 26.5. ja 18.6. näkyvät virtaamahuiput aiheutuvat sateista. Sateet kasvattavat virtaaman moninkertaisesti tavalliseen virtaamaan nähden, mutta virtaama myös laskee nopeasti lähelle normaalia tasoa. Tästä voidaan päätellä, että mittausalueen verkostoon pääsee suoria hulevesiä sateen aikana tai heti sateen jälkeen. Lukuun ottamatta kaatopaikkojen suotovesien tai sateiden aiheuttamaa virtaaman kasvua, virtaamat Tuomistontielle olivat pieniä molemmilla mittausjaksolla. Pääosin virtaama oli tällöin alle 4 l/s. Toisaalta molemmat mittaukset on tehty pohjaveden ollessa melko matalalla, joten mittauksista ei selviä, miten suuria varsinaisen vuotoveden määrät olisivat pohjaveden ollessa korkealla.

Järventielle mittauksissa (kuvat 14 ja 16) kaatopaikkojen pumppaukset näkyvät samanaikaisesti kuin Golfkentällä ja Tuomistontielle eli 5.–7.4., 11.–14.4. ja 15.–16.6. Muulloin Järventien virtaamat olivat huhtikuussa pääosin 4–8 l/s ja kesäkuussa alle 4 l/s. Näin ollen mittausalueelle pääsee vuotamaan varsinaista vuotovettä pohjavedenpinnan ollessa korkealla huhtikuussa (kuva 11). Lisäksi kesäkuun mittausjakson sateet aiheuttavat virtaamahuipun Järventielle, mutta suurin osa hulevedestä vaikuttaa tulevan verkostoon jo ennen Tuomistontietä. Toisaalta sateiden vaikutus näkyy Järventielle pidempään

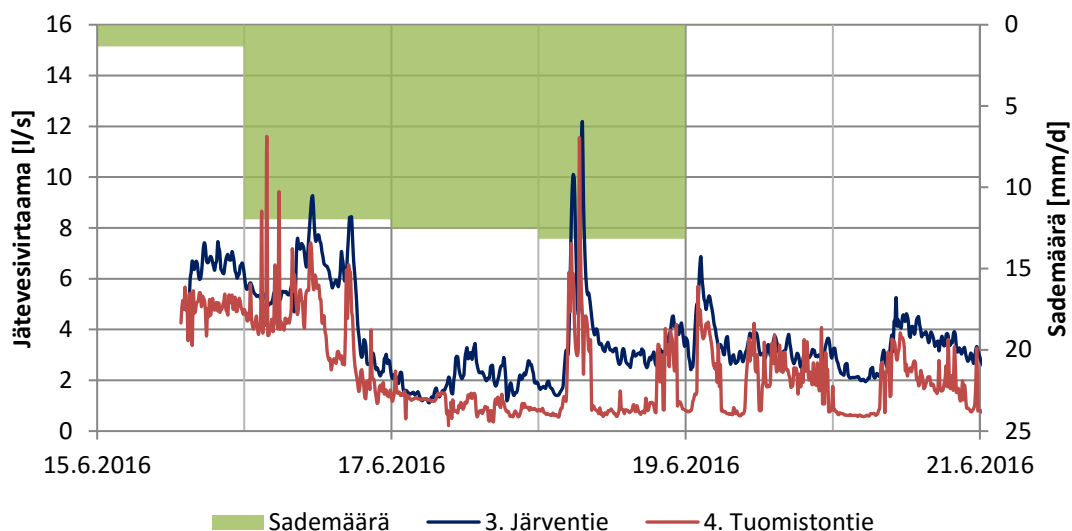
kuin Tuomistontieellä, ja virtaamat pysyvät tavallista korkeammalla mittausjakson loppuun asti. Todennäköisesti sateet nostavat pohjaveden pinnankorkeutta alueella, mikä lisää varsinaisen vuotoveden suotautumista verkostoon.



Kuva 14. Virtaamat Järventien ja golfkentän mittauspisteillä 7.4.–13.4.

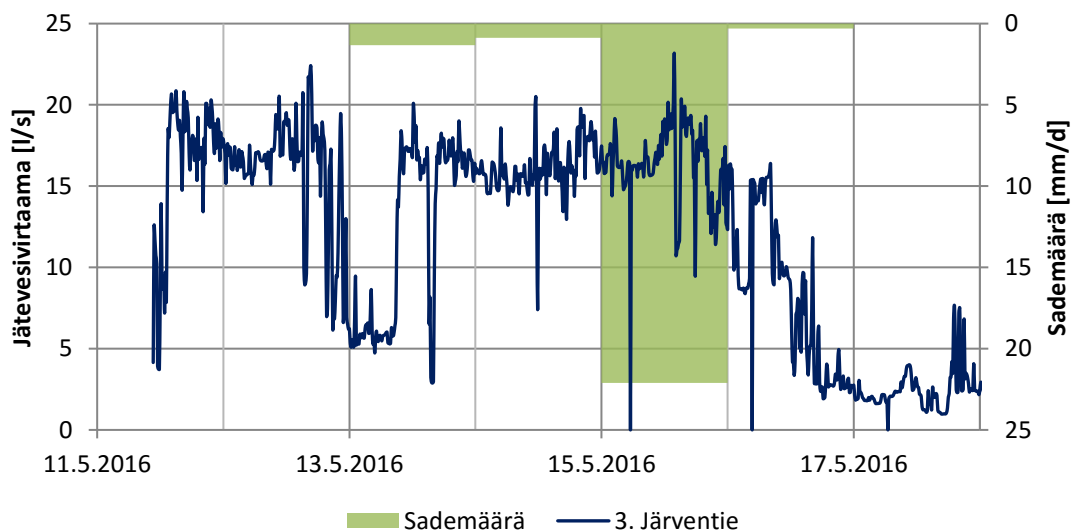


Kuva 15. Virtaamat Tuomistontien ja Golfkentän mittauspisteillä 23.5.–28.5.



Kuva 16. Virtaamat Järventien ja Tuomistontien mittauspisteillä 15.6.–20.6.

Järventiellä mitattiin virtaamaa myös toukokuussa, jolloin kaatopaikoilta pumpattiin suotovettä lähes koko ajan (kuva 17). Pumpaus aloitettiin kaatopaikalla 11.5. aamupäivällä ja lopetettiin 13.5. iltapäivällä. Lopettamisen jälkeen huomattiin, että pumpppaamon ohjainyksikkö oli hajonnut, minkä takia pumpppaus oli saattanut loppua jo aiemmin. Todennäköisesti pumpppaus ei ole toiminut 13.5. aamuyöllä ja aamulla, jolloin virtaamat ovat selvästi aiempaa pienempiä. Samana iltapäivällä pumpppausta jatkettiin kaatopaikalta 16.5. asti. Huomioitavaa on, että 15.5. tullut sade ei aiheuta merkittävää virtaaman kasvua verrattuna edellisiin päiviin. Maanpäänniemen puhdistamon virtaamassa näkyy kuitenkin pientä nousua kyseisenä päivänä (kuva 10), joten Raumalla lienee satanut ainakin jonkin verran.



Kuva 17. Virtaamat Järventien mittauspisteellä 11.5.–17.5.

Kaikki Uotilan verkoston pohjoisosassa tehdyt mittaukset viittaavat siihen, että tällä alueella merkittävin virtaamaa kasvattava tekijä on kaatopaikkojen suotovesien pumpppaus. Taulukossa 6 esitetään keskimääräiset jätevesivirtaamat ja lasketut vuotovesimäärät Järventiellä, Tuomistontien ja Golfkentällä mitattuina ajanjaksoina. Jätevesivirtaamasta on vähennetty kaatopaikkojen suotovedet (taulukko 4). Muuten mittauspisteen jätevesivirtaama on keskiarvo kyseiseen mittauspisteeseen tulleesta jätevedestä. Kahden mittauspisteen välistä tuleva virtaama on laskettu vähentämällä jälkimmäisen mittauspisteen virtaamasta edelliseen mittauspisteeseen tullut virtaama. Esimerkiksi huhtikuun mittausjaksolla Järventien jätevesivirtaama kattaa kaiken pohjoisesta tulevan jäteveden. Kun siitä vähennetään Golfkentälle tuleva virtaama, saadaan arvio näiden mittauspisteiden välistä tulevasta jätevesivirtaamasta.

Taulukko 6. Vuotovesimäärät Järventien, Tuomistontien ja Golfkentän mittauspisteillä mittausjaksojen aikana.

Mittausjakso	Mittauspiste	Mitattu virtaama keskimäärin [l/s]	Vuotovesi [l/s]	Vuotovesi [l/(s*km)]	Jäteveden puhdistamolle tullut virtaama [m ³ /d]
7.-13.4.	Järventie	5,50	4,5	0,31	15 182
	Golfkenttä	1,55	1,1	0,12	
	Mittauspisteiden väli	3,96	3,4	0,68	
23.-28.5.	Tuomistontie	3,54	2,7	0,21	14 397
	Golfkenttä	1,70	1,2	0,13	
	Mittauspisteiden väli	1,84	1,5	0,41	
15.-20.6.	Järventie	3,09	2,1	0,15	11 293
	Tuomistontie	1,65	0,8	0,06	
	Mittauspisteiden väli	1,44	1,3	0,90	
11.-17.5.	Järventie	9,05	8,1	0,56	12 305

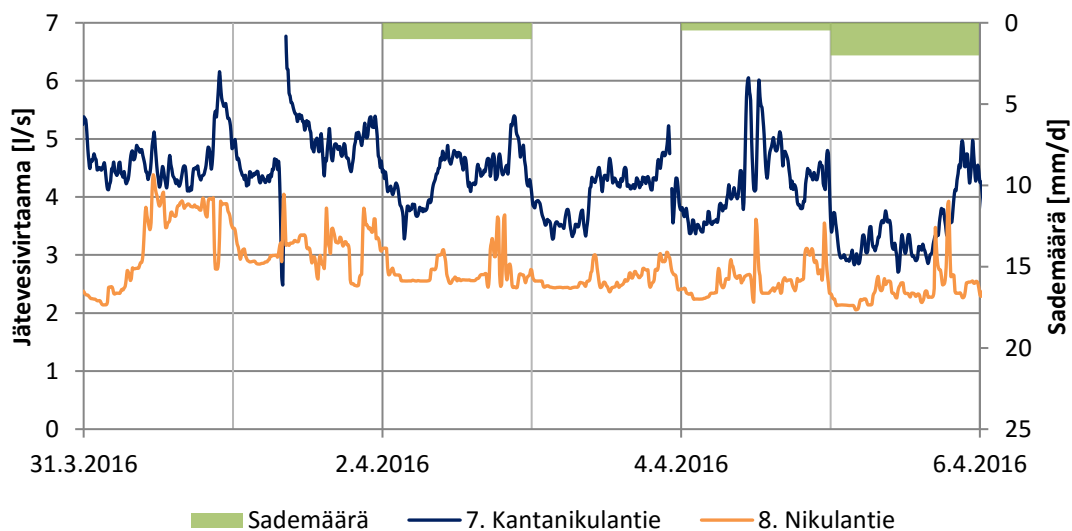
Vuotovesimäärät verkostokilometriä kohden vaihtelivat 0,06–0,90 l/(s*km) välillä. Suurimmat vuotovesimäärät olivat Järventien ja Tuomistontien välisellä verkoston osalla kesäkuussa, jolloin vuotoveden määrä oli 0,90 l/(s*km), sekä Järventien ja Golfkentän välisellä verkoston osalla huhtikuussa, jolloin vuotoveden määrä oli 0,68 l/(s*km). Kuten hydrografeista (kuvat 14 ja 16) voitiin päätellä, nämä vuotovedet aiheutuvat todennäköisesti pääosin pohjaveden suotautumisesta viemäriverkostoon.

5.2.3 Uotilan verkoston eteläosa

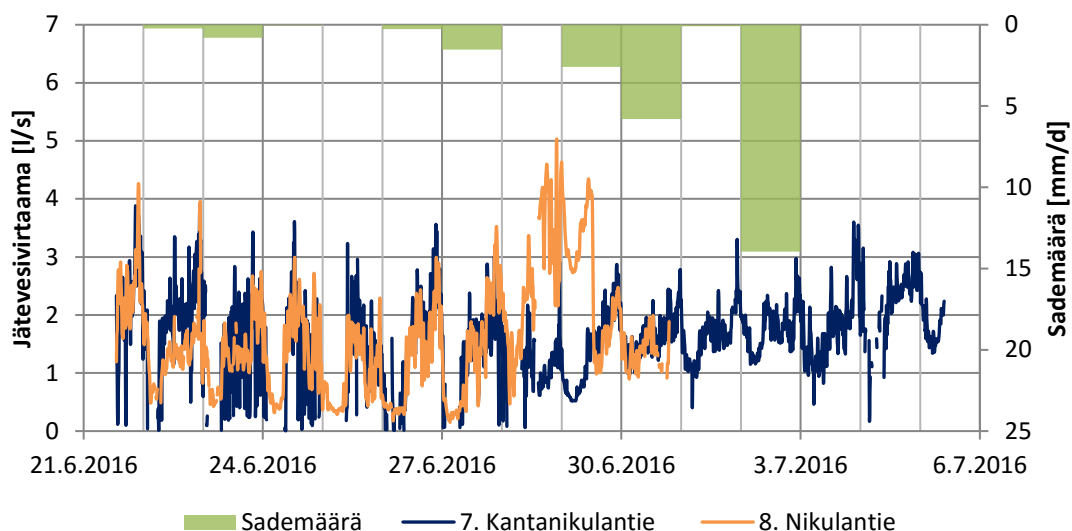
Tutkimusalueen eteläosassa oli kaksi mittauspistettä, jotka olivat Katanikulantie ja Nikulantie. Kaatopaikkojen suotovedet eivät kulje näiden mittauspisteiden kautta. Näillä mittauspisteillä virtaamia mitattiin kahdella mittausjaksolla 31.3.–6.4. sekä 21.6.–5.7.

Maalis- ja huhtikuun mittausjakson aikana virtaamat olivat Katanikulantiella 3–6 l/s ja Nikulantilla 2–4 l/s (kuva 18). Kesä- ja heinäkuun mittausjaksolla virtaamat olivat molemmilla mittauspisteillä alle 4 l/s, ja keskimääräinen virtaama oli pienempi kuin maalis- ja huhtikuun mittausjaksolla. Yöllä virtaamat laskivat alle 1 l/s, mistä voidaan päätellä, että mittausalueen vuotovesimäärät olivat pieniä pohjaveden ollessa matalalla kesä- ja heinäkuussa (kuva 11). Toisaalta maalis- ja huhtikuussa Katanikulantien yöaikaiset virtaamat olivat 3–4 l/s, mikä viittaa siihen, että pohjaveden ollessa korkeammalla verkostoon suotautui pohjavettä.

Sateet eivät aiheuta virtaamahuippuja hydrografiin (kuva 19). Tämä viittaa siihen, että verkostoon ei pääse merkittäviä määriä suoria hulevesiä. Toisaalta myöskään jätevedenpuhdistamon virtaamassa ei näy erityistä kasvua, joten sademäärä on voinut olla pienempi Raumalla kuin lähikunnissa. Yöaikaiset virtaavat kasvavat kuitenkin sateiden jälkeen, mikä viittaa siihen, että maahan imeytynyt sadevesi pääsisi suotautumaan maa- tai pohjavetenä verkostoon. Nikulantilla tapahtuva virtaaman kasvu 28.–29.6. on todennäköisesti mittausvirhe, sillä samaa virtaaman kasvua ei näy Katanikulantien mittauspisteellä, minkä kautta Nikulantilta tulevat jätevedet kulkevat kohti Uotilan pumpppaamo. Katanikulantien ja Nikulantien mittauspisteiden vuotovesimäärät esitetään taulukossa 7.



Kuva 18. Virtaamat Katanikulantien ja Nikulantien mittauspisteissä 31.3.–6.4.



Kuva 19. Virtaamat Kantanikulantien ja Nikulantien mittauspisteissä 21.6.–5.7.

Taulukko 7. Vuotovesimäärät Kantanikulantien ja Nikulantien mittauspisteillä mittausjaksojen aikana.

Mittausjakso	Mittauspiste	Mitattu virtaama keskimäärin [l/s]	Vuotovesi [l/s]	Vuotovesi [l/(s*km)]	Jätevedenpuhdistamolle tullut virtaama [m3/d]
29.3.–6.4.	Kantanikulantie	4,26	3,6	0,62	14 678
	Nikulantie	2,76	2,3	0,68	
	Mittauspisteiden väli	1,50	1,3	0,54	
21.6.–5.7.	Kantanikulantie	1,67	1,0	0,17	9 923

Laskettu vuotovesimäärä verkostokilometriä kohti oli Kantanikulanttiellä yli kolme kertaa suurempi maalisi- ja huhtikuussa kuin kesä- ja heinäkuussa. Uotilan verkoston eteläosaan tuleva vuotovesi on pääosin pohjavettä, jolloin vuotoveden määrää vaikuttaa erityisesti pohjaveden pinnankorkeus. Kesä-heinäkuun mittausjaksolta ei laskettu Nikulantien tai mittauspisteiden välistä vuotovesimäärää, sillä mitatut virtaamat Kantanikulanttiellä ja Nikulanttiellä olivat käytännössä yhtä suuria.

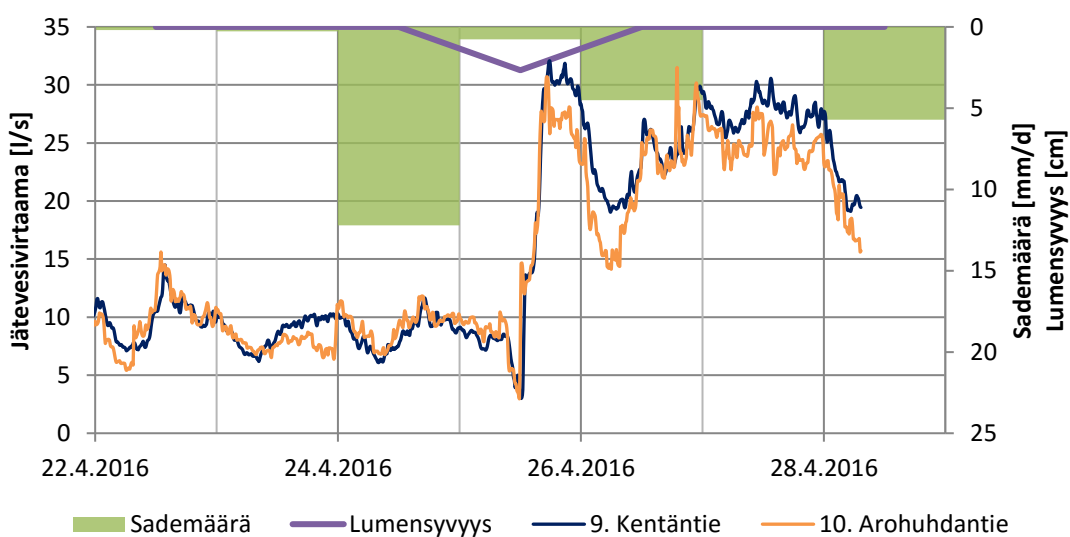
5.2.4 Uotilan verkoston runkolinja

Uotilan viemäriverkoston vuotovesivirtaamaa runkolinjassa tutkittiin kahdessa osassa. Virtausmittarit olivat Kentäntien ja Arohuhdantie mittauspisteillä 21.–28.4., sekä Uotilan pumpptaamon vieressä ja Akselintien mittauspisteellä 28.4.–4.5. Uotilan pumpptaamolla oleva mittari oli lähimmässä tarkastuskaivossa ennen pumpptaamoa, mistä saatiin mitattua

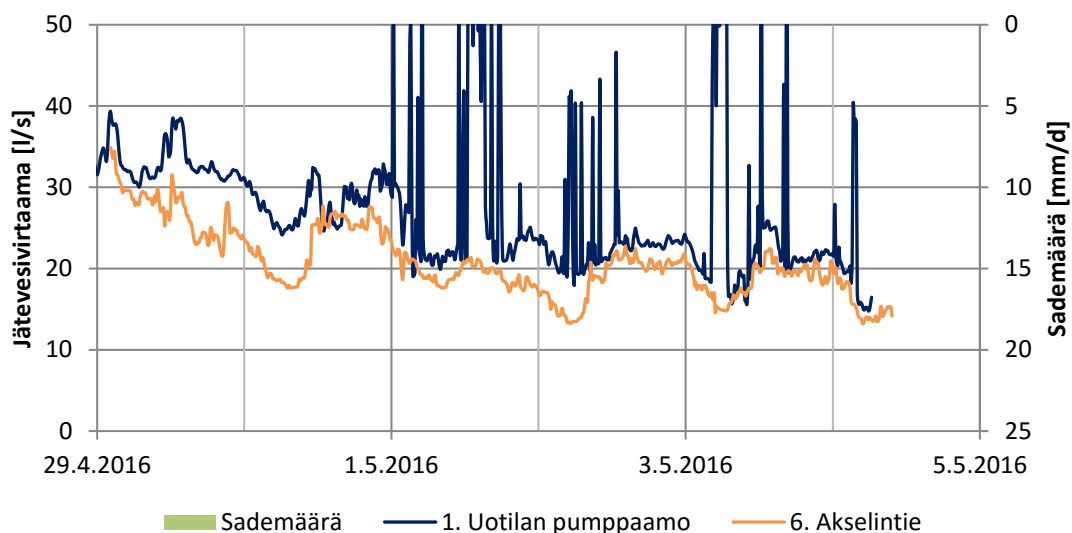
erikseen runkolinjaa pitkin tuleva vesimäärä ilman pohjoisesta Järventien suunnasta tulevia jätevesiä. Runkolinja tullaan osittain saneeraamaan seuraavan vuoden aikana. Kentäntien ja Arohuhdantien välistä saneerataan noin puolet verkostosta, ja Akselintien ja Uotilan pumpptaamon välinen osuus saneerataan kokonaan.

Kentäntien ja Arohuhdantien virtaamat seurasivat tarkasti toisiaan koko mittausjakson ajan (kuva 20). Mittausjakson aikana 24.4. satoi lunta, mikä sulii seuraavana päivänä ja kolminkertaisti virtaaman edellisiin päiviin nähden. Kuitenkin virtaaman lisäys tapahtui pääosin jo ennen Arohuhdantietä. Virtausmittausten perusteella sekä pohjaveden suotautuminen että hulevesien pääsy mittausalueen verkostoon vaikuttaa vähäiseltä. Runkolinjan kautta kulkevat lisäksi Lapin ja Kollan jätevedet, joten todennäköisesti sateen ja lumen sulamisen aiheuttamat hulevedet tulevat pääosin näiltä alueilta.

Lumen sulaminen (kuva 20) kasvatti virtaamia alueella useita päiviä tapahtuman jälkeen, mikä näkyi virtaaman kasvuna Uotilan pumpptaamolla ja Akselintiellä tehdyissä mittauksissa (kuva 21). Erityisesti mittausjakson alussa mittauspisteiden virtaamaerot olivat merkittäviä, jopa 10 l/s, kun huomioidaan, ettei tällä välillä ole montaa kiinteistöä. Mittausjakson loppupuolella sekä kokonaisvirtaama että mittausalueelta tuleva vesimäärä pieneivät. Koska lumen sulamisen ja mittauksen välillä oli monta päivää, voidaan päätellä, että verkostoon päässyt vuotovesi oli maa- tai pohjavettä.



Kuva 20. Virtaamat Kentäntien ja Arohuhdantien mittauspisteissä 22.–28.4.



Kuva 21. Virtaamat runkolinjan päässä Uotilan pumpppaamolla ja Akselintien mittauspisteellä 29.4.–4.5.

Uotilan pumpppaamon virtaamahuiput johtuivat todennäköisesti pumpppaamon padotuksesta, joka häiritsi virtausmittarin toimintaa (kuva 21). Pumpppaamon padotuksen aiheutti pinnankorkeutta mittaavan anturin vika, joka aiheutti veden pinnankorkeuden nousemisen imualtaassa ajoittain tavallista käynnistyskorkeutta ylemmäs. Kuvassa näkyvät piikit eivät näin ollen kuvaa todellista virtaamaa Uotilan pumpppaamolla. Koska hydrografista on olennaista erottaa virtaaman kasvu Akselintien mittauspisteen ja Uotilan pumpppaamon välillä, kuva on rajattu siten, että suurimmat virtaamahuiput eivät näy kokonaan.

Taulukossa 8 on esitetty mittausalueiden lasketut vuotovesimäärät. Keskimääräiseen virtaamaan pumpppaamon ja Akselintien välisellä mittausalueella ei ole laskettu mukaan pumpppaamon ongelmista johtuvia virtaamahuippuja.

Taulukko 8. Kentäntien ja Arohuhdantie sekä Uotilan pumpppaamon ja Akselintien välisten alueiden vuotovesimäärät mittausjaksoilla.

Mittausjakso	Mittausalue	Mitattu virtaama keskimäärin [l/s]	Vuotovesi [l/s]	Vuotovesi [l/(s*km)]	Jätevedenpuhdistamolle tullut virtaama [m ³ /d]
22.–28.4.	Kentäntie - Arohuhdantie	0,84	0,2	0,05	15 187
29.4.–4.5	Pumppaamo - Akselintie	4,10	4,0	2,71	16 406

Uotilan pumpppaamon ja Akselintien väliltä tuleva vuotovesimäärä verkostokilometriä kohden on moninkertainen verrattuna muihin tutkittuihin alueisiin, vaikka vuotovesimäärästä on vähennetty pumpppaamon viallisesta toiminnasta aiheutuneet virtaamahuiput.

Kaikilla muilla tutkituilla alueilla vuotoveden määrä oli alle 1 l/(s*km) , kun Uotilan pumppaamon ja Akselintien välistä vuotovettä tuli $2,7 \text{ l/(s*km)}$. Näin ollen kyseisen verkosto-osuuden saneeraaminen on myös virtausmittausten mukaan perusteltua. Sen sijaan Kentäntien ja Arohuhdantien välistä tuleva vuotovesimäärä on vähäinen, vaikka mittausjakson aikana satoi ja verkostossa liikkuvat vesimäärät kasvoivat noin kolminkertaisiksi. Tämän osuuden saneerauksella ei siis todennäköisesti ole suurta vaikutusta alueelta tulevan vuotoveden määrään.

5.2.5 Pienet mittausalueet

Yksittäisistä pienemmistä mittausalueista virtaamaa mitattiin Sarkontiellä ja Laaksotiellä 14.4.–20.4. Näiltä mittauspisteiltä ei kuitenkaan saatu luotettavaa dataa, sillä virtaamat olivat liian pieniä virtausmittarille. Kun veden pinnankorkeus putkessa on hyvin alhainen, mittari ei mittaa veden virtausnopeutta luotettavasti, jolloin se ei pysty laskemaan putkessa kulkevan veden virtaamaa. Lisäksi anturit keräsivät kiintoainesta, mikä myös häiritsi mittauksia.

Toisaalta kummaltakaan alueelta ei tullut juurikaan vuotovettä mittaushetkellä, ja mittausalueen verkostot ovat todennäköisesti hyväkuntoisia. Molemmat verkostot ovat materiaaltaan muovia. Voidaan olettaa, ettei kumpikaan alue ole merkittävä vuotovesien kanalta.

5.3 Savukokeet

Osa Uotilan viemäriverkostosta savutettiin, minkä tarkoituksena oli löytää suorien hulevesien reittejä verkostoon. Savukokeissa viemäriin tuotettiin savua, joka levisi verkostossa ja purkautui ulos viemärin avoimista päistä. Tehdyt havainnot valokuvattiin ja niistä kirjattiin vika ja sen sijainti.

Savukokeiden avulla löydettiin lähinnä tarkastuskaivojen vikoja. Kokonaan uusittavia tarkastuskaivoja havaittiin kolme kappaletta. Lisäksi löydettiin paikaltaan nousseita teleskooppeja ja tarkastusputkia sekä tarkastuskaivoja, joissa kansi oli kokonaan pois paikoiltaan tai muuten huonokuntoinen. Monet viallisista tarkastuskaivoista olivat ojassa tai muuten märässä maastossa. Niiden kautta on todennäköisesti päässyt merkittävä määrä vuotovettä verkostoon. Lisäksi osa näistä kaivoista sijaitsee talojen takana metsässä, minkä takia esimerkiksi puuttuvia kaivonkansia ei ollut huomattu aikaisemmin.

Rännivesiä johdettiin jätevesiviemäriin vain yhdestä kiinteistöstä, minkä lisäksi yhdestä kiinteistöstä johdettiin kellarin eteen kerääntyvä sadevesi jätevesiviemäriin. Kaikki havaitut viat on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Savukokeissa löydetty viemäriverkoston vuotoveden lähteet.

Havaitut viat	Määrä [kpl]
Kiinteistön rännivedet on johdettu luvattomasti jätevesiviemäriin, vaikka vieressä kulkee hulevesiviemäri.	1
Kellarin edestä sadevedet on johdettu jätevesiviemäriin. Todennäköisesti kellari on niin matalalle, ettei sinne kertyviä sadevesiä voida johtaa muualle kuin jätevesiviemäriin. Rännivedet on johdettu avojiin.	1
Uusittava huonokuntoinen tarkastuskaivo	3
Teleskooppi/tarkastusputki poissa paikaltaan	6
Vaihdettava huonokuntoinen tarkastuskaivon kansi	2
Tarkastuskaivon kansi poissa paikaltaan	2
Tarkastuskaivon kaulus irti	1

Savu kulki viemäriissä yleisesti ottaen hyvin ja käytännössä koko valittu alue saatiin tutkittua. Savutusten aikana havaittiin lisäksi kolme tukosta talokaivoissa, mikä esti savun kulkeutumisen kiinteistön tuuletusputkeen. Tukokset eivät olleet vielä aiheuttaneet ongelmia, joten niitä ei ollut havaittu ennen savutusten tekoa. Lisäksi savutuksilla voitiin havaita notkolla olevat verkosto-osuudet. Savukoe oli yksinkertainen, halpa ja helposti toteutettava menetelmä hulevesilähteiden kartoitukseen. Lisäksi suurin osa havaituista vi-oista oli helposti korjattavissa.

Toisaalta useimmat löydetty viat olisivat olleet havaittavissa myös ilman savutusta. Eri-tyisesti tarkastuskaivojen viat olisivat todennäköisesti selvinneet myös kaivojen visuaali-sella tarkastamisella. Jos verkostoon pääsee paljon suoria hulevesiä, voitaisiin vuotove-den määrää vähentää tarkastamalla järjestelmällisesti alueen kaivot ja korjaamalla vialli-set tai vuotavat kaivot.

6. TULOSTEN TARKASTELU

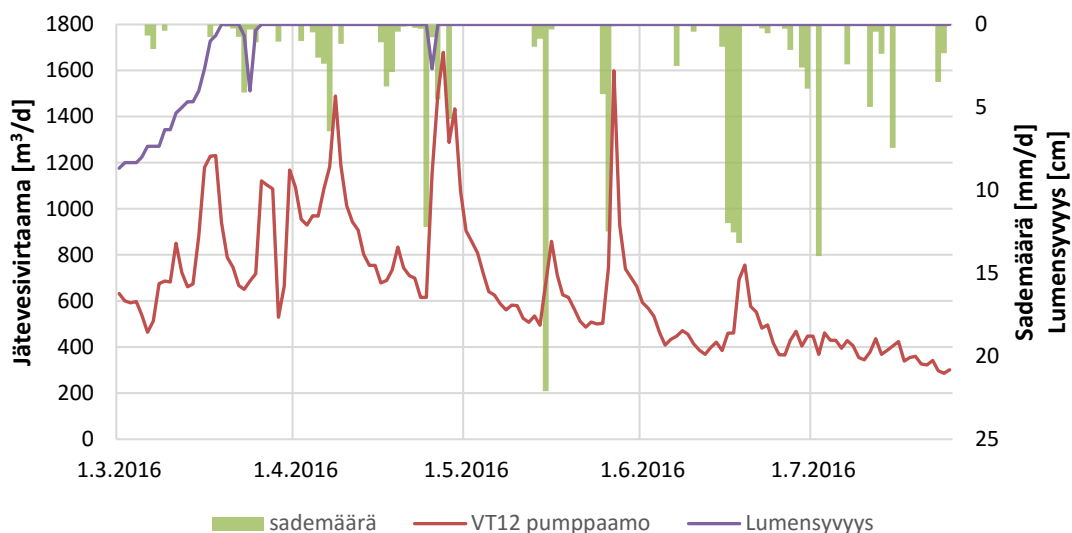
Tässä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia Uotilan viemäriverkoston vuotavuudesta. Lisäksi käydään läpi virtausmittauksiin liittyviä virhelähteitä. Lopuksi tarkastellaan tulosten vertailtavuutta muualla tehtyihin virtausmittauksiin, ja pohditaan, miten vertailtavuutta voitaisiin parantaa.

6.1 Vuotovedet Uotilan viemäriverkostossa

Mittausten perusteella suurin osa Uotilan viemäriverkostoon pääsevistä vuotovedistä on pohjavettä. Pohjavettä vuotaa verkostoon määrällisesti paljon. Maaliskuun mittausjaksolla noin 91 % Uotilan alueelta tulleesta jätevedestä oli vuotovettä, joka oli käytännössä pelkästään pohjavettä. Myös kuivaan aikaan heinäkuussa vuotovesi oli pääosin pohjavettä, sillä sademäärät olivat vähäiset. Heinäkuussa vuotoveden osuus Uotilan alueella oli noin 39 %, mikä on prosentuaalisesti yhtä paljon kuin koko Rauman alueella vuoden 2015 aikana.

Pohjavettä pääsee suotautumaan erityisesti Uotilan pumpppaamon ja Akselintien väliseltä osuudelta. Tämä väli saneerataan tulevan vuoden aikana, mikä todennäköisesti parantaa Uotilan vuotovesitilannetta. Lisäksi Uotilan pumpppaamon ja Golfkentän väliseltä verkoston osalta sekä Kantanikulantien ja Nikulantien mittausalueilta tulee vuotovettä enemmän kuin muualta Uotilan verkostosta. Näillä alueilla iso osa verkostosta on materiaaliltaan betonia. Nämä verkoston osuudet voitaisiin TV-kuvata, jolloin voitaisiin arvioida putkien kuntoa ja vaurioita sekä niiden saneeraustarvetta.

Mittaustulosten perusteella huleveden vuotaminen verkostoon on tutkimusalueella vähäistä. Yhdessäkään mittauksessa sateet eivät lisänneet merkittävästi viemäriverkostossa liikkuvia virtaamia tutkitun alueen sisällä. Sen sijaan 21.–28.4. Kentäntiellä ja Arohudantiellä tehty mittaus antoi viitteitä siitä, että Lapin ja Kollan kaupunginosista tulevat virtaamat kasvaisivat suorien hulevesien vaikutuksesta. Havaintoa vahvistavat kaukovalvontatiedot VT12-pumppaamolta (kuva 22), joka pumpppaa Lapin ja Kollan jätevedet Uotilan viemäriverkostoon. Kaukovalvontatietojen perusteella pumppaamon virtaamat kasvavat nopeasti sateiden jälkeen. Jätevedenpuhdistamon virtaamaan (kuva 10) verrattuna virtaamahuiput esiintyvät samoihin aikoihin, mutta VT12-pumppaamolla vesimäärät kasvavat suhteessa huomattavasti enemmän tavalliseen virtaamaan nähden kuin jätevedenpuhdistamolla. Koska vuotovedet ovat todennäköisesti suoria hulevesiä, Lapin ja Kollan kaupunginosien vuotovesitilannetta voitaisiin kartoittaa esimerkiksi tarkastuskaivojen visuaalisilla tarkastuksilla.



Kuva 22. Jätevesivirtaama kaukovalvontatietojen perusteella VT12 pumppaamolla, joka pumppaa Lapin ja Kollan jätevedet Uotilan viemäriverkostoon.

Kaatopaikkojen suotovesien pumppaus kasvattaa Uotilan pumppaamolle tulevan veden määrää. Mikäli suotovesien pumppauksia tehdään silloin, kun verkostossa on paljon vuotovesiä, suotovedet voivat aiheuttaa kapasiteetin ylityksiä pumppaamolla. Pumppaamon kapasiteetin ylityksiä voitaisiin näin ollen vähentää ajoittamalla suotovesien pumppaus ajankohtiin, jolloin verkostossa liikkuu muuten vähemmän jätevettä, kuten yöaikoihin. Toinen vaihtoehto on kasvattaa pumppaamon kapasiteettia saneeraamalla. Suotovesien määrään vesihuoltolaitos ei voi vaikuttaa.

6.2 Virtausmittausten luotettavuus ja virhelähteet

Virtausmittausten tulosten luotettavuuteen vaikuttaa jäteveden pinnankorkeus putkessa. Jos pinnankorkeus on liian alhainen, ultraäänianturi ei saa mitattua veden virtausnopeutta riittävällä tarkkuudella. Virtausmittari tarvitsee tiedon virtausnopeudesta virtaaman laskemiseen. Pasosen (2016) mukaan veden pinnankorkeuden putkessa tulisi olla ainakin seitsemän senttimetriä. Mittausvirhettä voivat aiheuttaa myös anturin virheellinen asento putkessa sekä kiintoaineksen tarttuminen anturiin. Mittausten aikana huomattiin, että kiintoainesta kerääntyi anturiin erityisesti silloin, kun veden pinnankorkeus oli alhainen.

Anturi tulisi asentaa keskelle putken pohjalle. Se voi kuitenkin jäädä asennettaessa vinoon. Lisäksi putken pohjalla voi olla sakkaa tai kohoumia, jotka estävät anturin asentamisen putken alimmalle kohdalle. Tällöin laitteen mitaama pinnankorkeus on pienempi kuin todellinen pinnankorkeus, mikä aiheuttaa virhettä virtaaman laskentaan. Laskettu virtaama on tällöin todellista virtaamaa pienempi. Veden pinnankorkeus vaikuttaa anturin virheellisen asennon aiheuttaman mittausvirheen suuruuteen. Vaikka anturi olisi vain vähän vinossa, ero todellisen ja mitatun virtaaman välillä voi olla suuri, jos veden pinnankorkeus putkessa on hyvin pieni.

Mittaustuloksissa näkyy joitakin selkeitä mittausvirheitä sekä virtaaman muutoksia, joille ei löydetty selitystä. Ne esiintyvät tuloksissa, joissa virtaama oli muuten melko vähäistä, kuten kuvan 19 tapauksessa. Lisäksi Sarkontien ja Laaksotien mittaustulokset jouduttiin hylkäämään kokonaan, sillä tulokset eivät olleet luotettavia. Yleisesti ottaen samanaikaisesti tehdyissä mittauksissa virtaamat seurasivat kuitenkin johdonmukaisesti toisiaan, mikä vahvistaa mittausten luotettavuutta.

Koska veden pinnankorkeus vaikuttaa monin tavoin virtausmittausten onnistumiseen, tulosten luotettavuutta voidaan parantaa padottamalla veden virtausta putkissa, joissa veden pinnankorkeus on muuten riittämätön. Padottaminen nostaa vedenkorkeutta ja hidastaa veden virtausnopeutta. Lisäksi mittareiden toiminta tulee tarkastaa parin päivän välein ja poistaa samalla antureihin kerääntynyt kiintoaines.

Kuten luvussa 2.5.1 kerrottiin, säätapauhtumat vaikuttavat vuotoveden määrään viemäri-verkostossa, minkä takia virtaamaa verrattiin sade- ja pohjavesitietoihin sekä jätevedenpuhdistamolle tulleeeseen virtaamaan. Sade- ja pohjavesitietoja ei mitata Raumalla. Lähikuntien ympäristötietojen käyttäminen on mahdollinen virhelähde. Vertaamalla sadetietoja jätevedenpuhdistamolle tulleeeseen virtaamaan (kuva 10) nähdään, että useimmiten virtaamat kasvoivat silloin, kun lähikunnissa satoi. Aina selvää yhteyttä ei kuitenkaan ollut nähtävissä. Pohjaveden pinnankorkeus Porissa oli korkeimmillaan maaliskuussa, jonka jälkeen se alkoi laskea tasaisesti (kuva 11). Alimmillaan pohjaveden pinnankorkeus oli heinäkuun lopussa. Jätevedenpuhdistamon virtaamassa näkyy erityisesti kesä- ja heinäkuussa laskeva trendi, mikä viittaa pohjaveden pinnankorkeuden laskuun myös Raumalla. Todennäköisesti pohjaveden pinnankorkeuden muutokset Porissa kertoivat melko hyvin pohjavesitilanteesta Raumalla.

Virtausmittauksille sopiva ajankohta riippuu tutkittavasta asiasta. Mikäli tutkittavan alueen verkostoon epäillään pääsevän merkittävästi suoria hulevesiä, mittaukset tulisi tehdä riittävän rankan tai pitkäkestoisen sadejakson aikana. Toisaalta jos epäillään verkoston olevan huonokuntoista, jolloin siihen suotautuu paljon pohjavesiä, virtausmittaukset on hyvä tehdä keväällä lumen sulamisen jälkeen. Tällöin pohjavedenpinta on yleensä korkealla. Mitä pidemmältä ajalta mittaustuloksia on, sitä paremmin voidaan tulkita virtaaman muutoksia jätevesiverkostossa.

6.3 Virtausmittausten tulosten vertailtavuus

Vuotoveden määrä vaihtelee, ja siihen vaikuttavat erityisesti pohjaveden pinnankorkeus sekä sademäärät (Stauffer et al. 2012). Jotta tuloksia voitaisiin verrata muiden alueiden vuotovesimääriin mahdollisimman luotettavasti, mittaukset olisi hyvä tehdä samanaikaisesti kaikilla vertailtavilla mittauspisteillä. Tällöin ympäristötekijöiden vaikutus saataisiin minimoitua. Mittaukset voidaan suorittaa vuokraamalla useampi virtausmittari tarvittavaksi ajaksi. Yhtä tai kahta virtausmittaria voidaan hyödyntää lähinnä silloin, kun halutaan selvittää tietyn mittauspisteen virtaaman muutoksia esimerkiksi sateen aikana.

Mittaustulosten vertailtavuutta muihin kaupunkeihin ja verkostoalueisiin nähden parantaisi mittausjakson pidentäminen. Pidempiaikaista mittausdataa voitaisiin saada erityisesti pumppaamoilta, jos niihin asennettaisiin kiinteitä virtausmittareita. Kuten luvussa 3.2.4 todettiin, kiinteä virtausmittari voidaan asentaa pumppaamon saneerauksen yhteydessä tai uutta pumppaamoa rakennettaessa. Kiinteiden virtausmittareiden avulla saadaan jatkuvaa tietoa alueen virtaamista ja voidaan arvioida pumppaamoalueittain, mistä verkostoon tulee merkittäviä vuotovesimääriä.

Varsinaisen vuotoveden määrä viemäriverkostossa kertoo yleensä tutkittavan verkoston kunnosta. Putken kunnan heikkenemiseen vaikuttavat esimerkiksi putken materiaali, ikä ja koko sekä maaperän ominaisuudet (Liu & Kleiner 2013). Myös verkoston pituus vaikuttaa tulevan vuotoveden määrään. Jotta mittaustulosten syitä voitaisiin analysoida, tarvitaan tietoa tutkittavan verkoston ominaisuuksista. Raumalla nykyisistä tietojärjestelmistä ei ole mahdollista saada kootusti tietoa verkoston ominaisuuksista, kuten tutkittavan alueen keskimääräisestä iästä tai eri putkimateriaalien määristä. Esimerkiksi putkimateriaalien määrät pitäisi laskea karttaohjelmasta käsin mittaamalla. Verkkotietojärjestelmän käyttöönotto mahdollistaisi verkostotietojen saamisen kootusti, jolloin mittaustulosten syitä voitaisiin analysoida paremmin.

Tehtyjen mittausten tulokset kertovat vuotoveden määrästä mitatulla alueella mittausjakson aikana. Tuloksia on kuitenkin vaikea verrata muiden alueiden vuotovesimääriin, sillä käytetyt mittausjaksot olivat yleensä vain muutaman päivän pituisia. Lisäksi tulosten analysoimiseksi tarvittaisiin tarkempaa tietoa verkostojen ominaisuuksista ja ympäristötekijöistä. Näistä syistä johtuen saatuja tuloksia ei ole verrattu muilla alueilla tehtyihin virtausmittauksiin.

6.4 Verkostotiedon hyödyntäminen Rauman Vedellä

Viemärlaitoksen päivittäisessä toiminnassa syntyy tietoa, jota voidaan hyödyntää kunnossapidon ja saneerauksen suunnittelussa. Tiedon hyödyntämisen edellytyksenä on, että verkostotietoa kerätään järjestelmällisesti ja kattavasti, jolloin voidaan nähdä erilaisia trendejä ja kehityssuuntia. Verkkotietojärjestelmä mahdollistaisi verkostotiedon tallentamisen yhteen paikkaan, josta tiedot olisi saatavissa myös kootusti. Tällöin niitä voitaisiin hyödyntää myös muiden ohjelmien lähtötietoina, esimerkiksi verkoston mallintamisessa. Karttapohjaisessa järjestelmässä verkostotietoja voitaisiin havainnoida paikkatietona, esimerkiksi huonokuntoiset verkostoalueet voitaisiin nähdä kartalta.

Tällä hetkellä Rauman Veden verkostotieto on hajallaan eri järjestelmissä. Paikkatieto-ohjelmaan, Trimble Locukseen, on tallennettu verkostojen sijainti-, materiaali- ja kokotiedot. Sen sijaan esimerkiksi verkostojen rakentamisvuodet on tallennettu eri tiedostoon. Lisäksi kerätyt toiminnalliset tiedot, kuten tukokset, tallennetaan erikseen. Tämä vaikeuttaa tiedon havainnointia ja sen hyödyntämistä verkostojen ylläpidon suunnittelussa.

Rauman kaupunki osti vuonna 2012 Trimble NIS -ohjelman lisenssin. Se mahdollistaisi toiminnallisten tietojen tallentamisen samaan järjestelmään verkoston perustietojen kanssa. Lisäksi se sisältää laajat analyysityökalut, joiden avulla voidaan esimerkiksi suunnitella verkoston kunnossapitoa ja tarvittavia investointeja. Ohjelman käytöstä kuitenkin luovuttiin sen käyttöönottoon liittyvien vaikeuksien takia. Mikäli ohjelmaan saataisiin riittävän kattavat tiedot verkostosta, auttaisi se esimerkiksi verkostotiedon hallinnassa, verkostojen ylläpidon suunnittelussa sekä perusteltujen investointipäätösten teossa.

Verkostotiedon hyödyntämistä voitaisiin parantaa myös ilman verkkotietojärjestelmän käyttöönottoa. Esimerkiksi sopivien tunnuslukujen laskennalla voitaisiin arvioida verkoston kuntoa ja saneeraustarvetta. Tällaisia tunnuslukuja ovat esimerkiksi viemärin sortumat ja tukokset. Rauman Veden tavoitteena tulisi olla verkostotiedon lisääminen, mikä mahdollistaisi monenlaisten työkalujen käytön jatkossa.

7. YHTEENVETO

Ikääntyvien viemäreiden kunto heikkenee ja niihin pääsee yhä enemmän vuotovesiä. Vuotovedet lisäävät viemäriverkoston ja jätevedenpuhdistamon kuormitusta ja aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia. Lisäksi ne heikentävät jätevedenpuhdistuksen tehokkuutta ja voivat aiheuttaa kapasiteettiongelmia verkostossa ja jätevedenpuhdistamolla. Kapasiteetin ylitysten aiheuttamat ylivuodot, prosessiohitukset ja viemäritulvat aiheuttavat puolestaan ympäristö-, hygieni- ja turvallisuusriskejä. Verkoston ikääntymisen pysäyttämiseksi tulisi saneerausten määrää kasvattaa kestäväälle tasolle. Verkoston käyttöikä ja toimintavarmuutta voidaan lisäksi kasvattaa siirtymällä korjaavasta kunnossapidosta ennaltaehkäisevään kunnossapitoon.

Jotta saneeraukseen käytettävissä olevat rajalliset resurssit osataan kohdistaa oikeille verkoston osille, tarvitaan paikkansapitävää tietoa viemäreiden kunnosta ja vuotovesien määrästä viemäriissä. Suomessa yleisimmät tutkimusmenetelmät ovat virtausmittaukset, savukokeet, TV-kuvaus ja Vuove-menetelmä. Lisäksi tietoa verkoston toiminnasta saadaan normaalin käytön ja tarkkailun yhteydessä. Kirjaamalla järjestelmällisesti ylös näitä toiminnallisia tietoja, voidaan niitä hyödyntää kunnossapidon ja saneerauksen suunnittelussa. Verkostotiedot olisi hyvä tallentaa karttapohjaiseen verkkotietojärjestelmään, mikä auttaa tiedon havainnollistamisessa ja analysoinnissa. Kattava verkostotieto mahdollistaa lisäksi monien työkalujen käytön, esimerkiksi verkoston mallintamisen, päätöstukimallien käytön saneerausten suunnitteluun sekä kokonaisvaltaisen käyttöomaisuuden hallinnan.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia vuotovesien lähteitä Uotilan kaupunginosassa Raumalla. Mittaukset suoritettiin siirrettävillä virtausmittareilla ja savukokein. Uotilan viemäriverkostoon epäiltiin pääsevän vuotovesiä erityisesti sateisina aikoina. Virtausmittausten perusteella verkostoon ei kuitenkaan pääse merkittävästi suorja hulevesiä. Sen sijaan suurin osa vuotovedestä on pohjavettä. Pohjavesiä pääsee verkostoon erityisesti alueilta, joiden putkimateriaali on pääosin betonia. Eniten vuotava alue Uotilan pumpaamon ja Akselintien mittauspisteen välillä saneerataan tulevan vuoden aikana. Lisäksi pohjavettä vuotaa erityisesti Uotilan pumppaamon ja Golfkentän väliseltä alueelta sekä Kantanikulan ja Nikulan mittausalueilta. Nämä verkoston osat voitaisiin TV-kuvata, jolloin nähtäisiin putkien kunto ja voitaisiin arvioida niiden saneeraustarvetta.

Uotilan pumppaamolle tuleva virtaama kasvaa merkittävästi silloin, kun kaatopaikoilta pumpataan suotovesiä. Pumppaamolle voi aiheutua kapasiteetin ylityksiä, jos pumppaus ajoitetaan ajanhetkeen, jolloin virtaamat verkostossa ovat muutenkin suuria. Suotovesiä olisi hyvä pumpata esimerkiksi yöaikaan, jolloin virtaamat viemäriissä ovat muuten pienempiä. Lisäksi Uotilan viemäriverkostoon tulee jätevesiä Lapin ja Kollan kaupunginosista. Virtausmittaukset sekä kaukovalvontatiedot pumppaamolta, joka pumppaa näiden

alueen jätevedet Uotilan viemäriverkostoon, viittaavat siihen, että Lapin ja Kollan virtaamat kasvavat sateiden aikana, jolloin vuotovesi on todennäköisesti suoria hulevesiä. Näiden alueiden vuotovesilähteitä olisi hyvä selvittää esimerkiksi tarkastuskaivojen tarkastuksilla, jotka voivat paljastaa suorien hulevesien reittejä viemäriin.

Työn tavoitteena oli myös tarkastella verkostotiedon keräämisen ja hyödyntämisen lisäämistä Rauman Vedellä. Verkkotietojärjestelmään siirtyminen mahdollistaisi verkoston perustietojen lisäksi toiminnallisten tietojen tallentamisen samaan järjestelmään. Rauman kaupunki osti vuonna 2012 Trimble NIS-ohjelman lisenssin, joka sisältää verkostotiedon tallentamisen lisäksi laajat analyysityökalut. Niiden avulla voidaan esimerkiksi suunnitella ja hallita verkoston kunnossapitoa ja tarvittavia investointeja. Ongelmana oli ohjelman käyttöönotto sekä riittävän kattavuuden saaminen verkostotietoihin, minkä takia ohjelman käytöstä luovuttiin. Mikäli ohjelma otettaisiin uudelleen käyttöön, se tukisi myös viemäriverkoston vuotojen hallintaa.

Verkoston kuntoa ja saneeraustarvetta voidaan arvioida myös sopivien tunnuslukujen avulla. Myös tunnuslukujen laskenta vaatisi verkostotiedon keräämisen ja hallinnan kehittämistä. Verkostotiedon lisääminen mahdollistaisi monien työkalujen hyödyntämisen jatkossa, vaikkei tietojen keräämiselle olisi välitöntä tarvetta. Vähimmillään Rauman kaupungin tulee pyrkiä saamaan verkoston sijaintitiedot sähköiseen muotoon mahdollisimman pian, sillä vesihuoltolaki edellyttää verkostojen sijaintitietojen digitoimista vuoden 2016 loppuun mennessä.

LÄHTEET

Airix Ympäristö Oy. (2010) Rauman kaupunki. Vesihuollon kehittämissuunnitelma, Turku, Saatavissa (viitattu 19.4.2016): http://www.rauma.fi/sites/default/files/atoms/files/rauma_vesihuollon_kehittamissuunnitelma.pdf

Ana, E. & Bauwens, W. (2007) Sewer network asset management decision-support tools: a review. International Symposium on New Directions in Urban Water Management, UNESCO, Paris, 8 p.

Costello, S.B., Chapman, D.N., Rogers, C.D.F. & Metje, N. (2007) Underground asset location and condition assessment technologies, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 22, pp. 524–542.

DeSilva, D., Burn, S., Tjandraatmadja, G., Moglia, M., Davis, P., Wolf, L., Held, I., Voltertsen, J., Williams, W. & Hafskjold, L. (2005) Sustainable management of leakage from wastewater pipelines, Water Science & Technology, Vol. 52, pp. 189–198.

Gokhale, S. & Graham, J.A. (2004) A new development in locating leaks in sanitary sewers, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 19, pp. 85–96.

Fenner, R.A. (2000) Approaches to sewer maintenance: a review, Urban Water, Vol. 2, pp. 343–356.

HE 218/2013. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi vesihuoltolain sekä maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta, 100 s.

Hao, T., Rogers, C.D.F., Metje, N., Chapman, D.N., Muggleton, J.M., Foo, K.Y., Wang, P., Pennock, S.R., Atkins, P.R., Swingle, S.G., Parker, J., Costello, S.B., Burrow, M.P.N., Anspach, J.H., Armitage, R.J., Cohn, A.G., Goddard, K., Lewin, P.L., Orlando, G., Redfern, M.A., Royal, A.C.D. & Saul, A.J. (2012) Condition assessment of the buried utility service infrastructure, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 28, pp. 331–344.

Ilmatieteenlaitos. Säähavainnot, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu 26.7.2016): <http://ilmatieteenlaitos.fi/saahavainnot>

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. (2004) Vesihuolto. 2, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 684 s.

Karttunen, E. (2010a) Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. 1, Perusteet ja toiminnallisuus, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 177 s.

Karttunen, E. (2010b) Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. 2, Mitoitus ja suunnittelu, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 162 s.

King County. (2015) What is infiltration and inflow?, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu 20.7.2016): <http://www.kingcounty.gov/services/environment/wastewater/ii/what.aspx>

L 681/2014. Laki vesihuoltolain muuttamisesta, Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.

L 682/2014. Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta, Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.

Laaksonen, V. (2015) Viemäriverkoston mittaaminen ja luotettavuuden arviointi, Diplomityö, Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu, Hyvinkää, 88 s.

Liu, Z. & Kleiner, Y. (2013) State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes, Measurement, Vol. 46, pp. 1-15.

Luomanen, T., Hanski, J. & Oulasvirta, L. (2013) OT7 – Vesihuoltoverkon kunnon ja arvon määrittäminen, VTT-R-08119-12, Tampere, 64 s.

Lähdemäki, T. (2016) Kartoittaja, Rauman kaupunki, Rauma, Haastattelu 13.4.2016

Maa- ja metsätalousministeriö. (2008) Vesihuoltoverkostojen nykytila ja saneeraustarve. YVES- tutkimuksen päivitys 2008. FCG Planeko Oy. 2312-C9259, 21 s.

Maanmittauslaitos. (2016) Karttaikkuna, Paikkatietoikkuna, Karttapalvelu. Saatavissa (viitattu 19.4.2016): <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>

Mustonen, H. (2010) Tietojen tuottaminen ja hallinta verkostosaneerauskohteiden valintaa varten, Vesitalous 6/2010, s. 5–7.

Pasonen, T. (2016) Aluemyyntipäällikkö, Labkotec Oy, Rauma, Haastattelu 16.3.2016

ROTI. (2009) Rakennetun omaisuuden tila 2009, Helsinki, 30 s.

ROTI. (2015) Rakennetun omaisuuden tila 2015, Helsinki, 64 s.

Saastamoinen, M. (2015) Viemäriverkostoa ja sen ympäristöä koskevat hyödyntämis mahdollisuudet, Diplomityö, Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu, 62 s.

Sempere-Payá, V., Todolí-Ferrandis, D. & Santonja-Climent, S. (2013) ICT as an Enabler to Smart Water Management, in: Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 239-258.

Seppinen, J. (2010) Sekaviemärijärjestelmän hulevesikuormituksen vähentäminen, Diplomityö, Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, 127 s.

Stauffer, P., Scheidegger, A. & Rieckermann, J. (2012) Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow, *Water Research*, Vol. 46, pp. 5185–5196.

Suomen Kuntaliitto (2001) Suositus vesihuollon sopimusehdoiksi sekä yleisiksi toimitusehdoiksi, *Yleiskirje 16/80/2001*, Saatavissa (viitattu 14.4.2016): <http://www.kunnat.net/fi/Kuntaliitto/yleiskirjeet-lausunnot/yleiskirjeet/2001/Sivut/suositus-vesihuollon-sopimusehdoiksi-seka-yleisiksi-toimitusehdoiksi.aspx>

Suomen Ympäristökeskus. (2016) Pohjaveden pinnankorkeus, Saatavissa (viitattu 27.8.2016): <http://www.i3.ymparisto.fi/i3/paasivu/FIN/Pohjavesi/Pohjavesi.htm>

SWAN - Smart Water Networks Forum. A layered view of data technologies for the water distribution network, Saatavissa (viitattu 11.3.2016): <http://smartcitiescouncil.com/resources/layered-view-data-technologies-water-distribution-network>

Temido, J., Sousa, J. & Malheiro, R. (2014) SCADA and Smart Metering systems in water companies. A perspective based on the value creation analysis, *Procedia Engineering*, Vol. 70, pp. 1629–1638.

Thompson, K. & Kadiyala, R. (2014) Making water systems smarter using M2M technology, *Procedia Engineering*, Vol. 89, pp. 437–443.

Tilastokeskus. Kuntien avainluvut, Helsinki, Saatavissa (viitattu 19.4.2016): <http://www.stat.fi/tup/alue/kuntienavainluvut.html#?active1=SSS>

U. S. Environmental Protection Agency. (1991) Handbook. Sewer system infrastructure analysis and rehabilitation, EPA/625/6-91/030, 92 p.

U.S. Environmental Protection Agency. (2002a) Decision-support tools for predicting the performance of water distribution and wastewater collection systems, EPA/600/R-02/029, 97 p.

U.S. Environmental Protection Agency. (2002b) Fact sheet. Asset management for sewer collection systems, Saatavissa (viitattu 20.6.2016): <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/assetmanagement.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency. (2002c) The clean water and drinking water infrastructure gap analysis, EPA-816-R-02-020, 50 p.

U.S. Environmental Protection Agency. (2005) Guide for evaluating capacity, management, operation and maintenance (CMOM) programs at sanitary sewer collection system, EPA 305-B-05-002, 126 p.

U. S. Environmental Protection Agency. (2009) White paper on condition assessment of wastewater collection systems, EPA/600/R-09/049, 51 p.

U. S. Environmental Protection Agency. (2014) Guide for estimating infiltration and inflow, Saatavissa (viitattu 3.3.2016): <https://www3.epa.gov/region1/sso/pdfs/Guide4EstimatingInfiltrationInflow.pdf>

Vesilaitosyhdistys. Tunnuslukujärjestelmä, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu 11.8.2016): <http://vvy.fi/tunnuslukujarjestelma>

Vna 888/2006. Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä, Ympäristöministeriö, Helsinki.

Vuove-insinöörit Oy. Menetelmästä, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu 18.7.2016): <http://www.vuove.fi/menetelma.html>

Vähäsöyrinki, A. (2015) Etäluettavien vesimittareiden käyttö kiinteistökohtaisessa vedenmittauksessa, Diplomityö, Oulun yliopisto, Oulu, 100 s.

Välisalo, T., Riihimäki, M., Lehtinen, E. & Kupi, E. (2008) Vesihuoltolaitosten verkosto-omaisuuden hallinta. Toimintamallin kuvaus Total Management planning -ohjeistuksen pohjalta, Tutkimusraportti, VTT, ISBN 978-951-38-7159-8, Tampere, 70 s.

Välisalo, T., Räikkönen, M. & Lehtinen, E. (2006) Asset management vesihuollossa. Kirjallisuustutkimus, VTT, ISBN 951-38-6613-0, Tampere, 87 s.

Wirahadikusumah, R., Abraham, D.M., Iseley, T. & Prasanth, R.K. (1998) Assessment technologies for sewer system rehabilitation, Automation in Construction, Vol. 7, pp. 259–270.